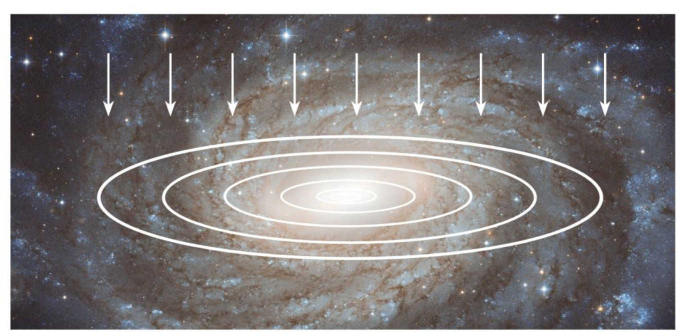
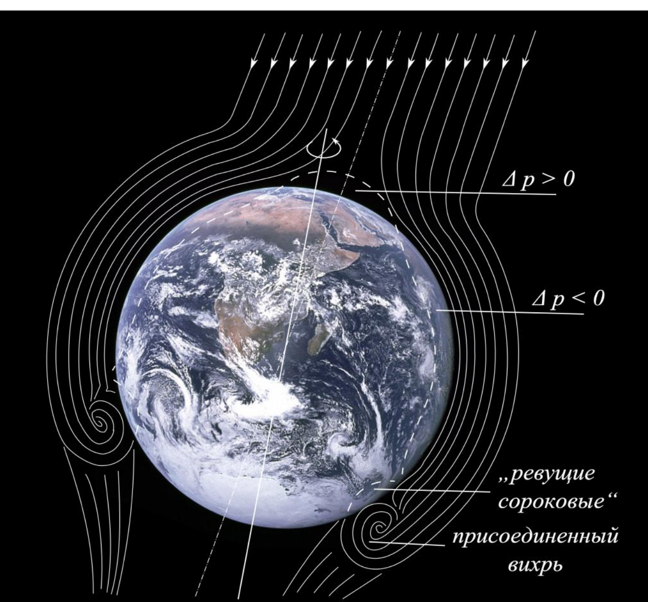
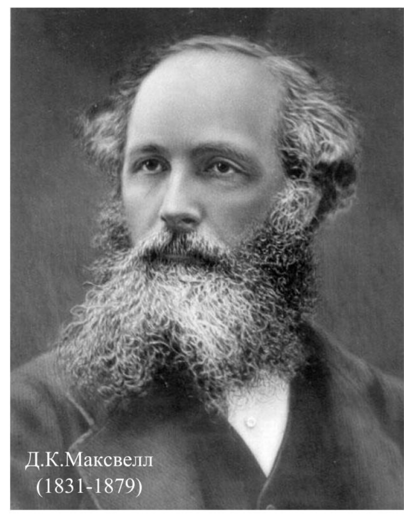
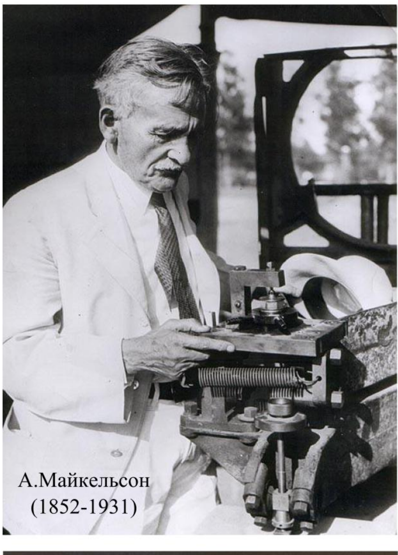
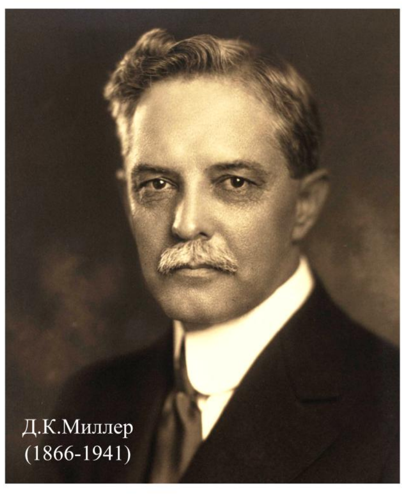



Эфирный
ветер
Сборник статей под редакцией
В.А.Ацюковского, 2 издание,
Энергоатомиздат, 2011 г.


Δ p > 0
Δ p < 0
„ревущие
сороковые“
присоединенный
вихрь


Д.К.Максвелл
(1831-1879)


А.Майкельсон
(1852-1931)

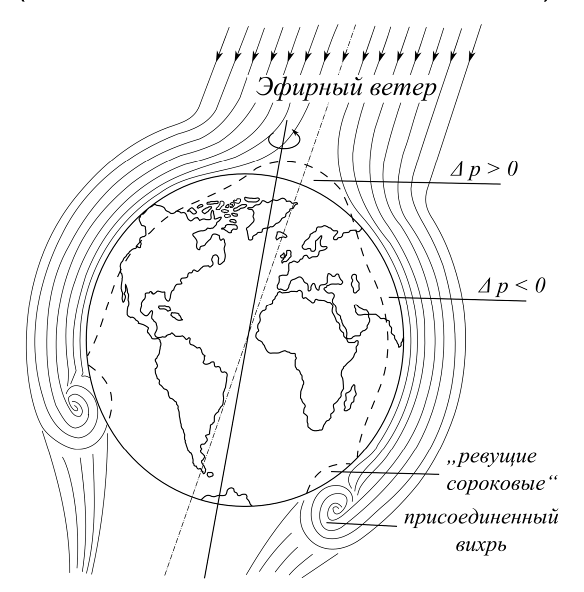

Д.К.Миллер
(1866-1941)

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

СЕКЦИЯ НООСФЕРНЫХ ЗНАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

Эфирный ветер

(От Максвелла до наших дней)



ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ

Москва, 2011 г.

УДК 530.3

Эфирный ветер. Сб. статей. 2–е издание.//Под ред. В.А.Ацюковского. М.: Энергоатомиздат, 2011. 419 с.
ISBN 978-5-283-03319-8

Настоящий сборник статей включает в себя переводы основных работ экспериментаторов, поставивших опыты по обнаружению эфирного ветра. Комментарий к ним и предложения по развитию данного направления даны в заключительных статьях составителя сборника.

Для научных работников и студентов ВУЗов, специализирующихся в области теоретической и прикладной физики.

Научное издание

ЭФИРНЫЙ ВЕТЕР

Составитель: Владимир Акимович Ацюковский, доктор технических наук, академик Российской академии естественных наук, академик Российской академии космонавтики им. К.Э.Циолковского, почетный академик Российской академии электротехнических наук.

Редактор: Роман Геннадьевич Чертанов, инженер-программист.

ISBN 978-5-283-03319-8

Содержание

Предисловие 5
1. ***Дж.К.Максвелл***. Относительное движение эфира (1877) 8
2. ***А.Майкельсон***. Относительное движение Земли и светоносный эфир (1881)...27
3. ***А.Майкельсон, Э.Морли***. Об относительном движении Земли и светоносного эфира (1887) 41
4. Отрывок из письма профессоров ***Э.В.Морли*** и ***Д.К.Миллера*** Лорду Кельвину (1904) 60
5. ***Э.Морли, Д.Миллер***. Отчет об эксперименте по обнаружению эффекта Фицжеральда – Лоренца (1905) 62
6. ***А.Эйнштейн*** об эфире (цитаты) 70
7. ***А.Майкельсон***. Влияние вращения Земли на скорость света. Часть I. (1925)...74
8. ***А.Майкельсон, Г.Гель***. Влияние вращения Земли на скорость света. Часть II (1925)...77
9. ***Д.К.Миллер***. Эфирный ветер. Доклад, прочитанный в Вашингтонской академии наук (1925) 84
10. ***Д.К.Миллер***. Значение экспериментов по обнаружению эфирного ветра в 1925 г. на горе Маунт Вилсон 99
11. ***Р. Дж. Кеннеди***. Усовершенствование эксперимента Майкельсона–Морли (1926).........................137
12. ***К. К. Иллингворт***. Повторение эксперимента Майкельсона–Морли с использованием усовершенствования Кеннеди (1927)...................................148
13. ***Конференция*** по эксперименту Майкельсона–Морли, состоявшаяся в обсерватории Маунт Вилсон, г. Пасадена, Калифорния, 4 и 5 февраля 1927 г. 155
14. ***Е.Стаэль***. Эксперимент Майкельсона, выполненный на свободном аэростате (1926) 221

15. ***А.Пиккар, Е.Стаэль***. Эксперимент Майкельсона, проведенный на горе Риги на высоте 1800 м над уровнем моря (1927).. 224
16. ***А. А. Майкельсон, Ф. Г. Пис и Ф.Пирсон***. Повторение эксперимента Майкельсона–Морли, 1929. 226
17. ***Ф.Г.Пис***. Данные о движении эфира. 1930 г. 230
18. ***Д.К.Миллер***. Эксперимент по эфирному ветру и определение абсолютного движения Земли, 1933 г............. 237
19. ***Дж. П.Седархольм и др.*** Новая экспериментальная проверка теории относительности (1958).. 320
20. ***Дж.П.Седархольм, Ч.Х.Таунс***. Новая экспериментальная проверка специальной теории относительности (1959).. 324
21. ***Ю.М.Галаев***. Результаты повторения эксперимента Д.К.Миллера в диапазонах радио и оптических волн (2011) 331
22. ***Штырков Е.И***. Обнаружение влияния движения Земли на аберрацию электромагнитных волн от геостационарного спутника — новая проверка специальной теории относительности (2007)........................ 358
23. ***В.А.Ацюковский***. Исследования эфирного ветра с помощью лазера (2000) 377
24. ***В.А.Ацюковский***. Эфирный ветер: проблема, ошибки, задачи (1993, 2011) 384
Переводчики 411
Источники изображений.. 412
Приложение 1. Техническое задание на лазерный измеритель скорости эфирного ветра.................................. 413
Приложение 2. Параметры эфира в околоземном пространстве... 418
Первая страница обложки 419

Памяти выдающегося исследователя
проблемы эфирного ветра
американского профессора
Кейсовской школы прикладных наук
Дейтона Кларенса Миллера посвящается

Предисловие

История поисков эфирного ветра является одной из самых запутанных историй современного естествознания. Значение исследований эфирного ветра выходит далеко за рамки исследований какого-либо физического явления: результаты первых работ этого направления оказали решающее влияние на все естествознание XX столетия. Так называемый «нулевой результат» первых экспериментов А.Майкельсона и Э.Морли, выполненных этими американскими исследователями в 1881 и 1887 гг., привел физиков XX столетия к мысли не только об отсутствии на земной поверхности эфирного ветра, но и к убеждению, что эфир — мировая среда, заполняющая собой все мировое пространство, не существует в природе. Никакие положительные результаты, полученные этими же и другими исследователями эфирного ветра в более поздние годы, уже не поколебали этой уверенности. И даже когда сам А.Эйнштейн в 1920 и 1924 гг. в своих статьях стал утверждать, что «физика немыслима без эфира», это не изменило ничего.

А между тем, представления об эфире — мировой среде, заполняющей мировое пространство и являющейся строительным материалом всех без исключения видов вещества, движения которой проявляются в виде физических полей и взаимодействий, сопровождали всю известную нам историю естествознания, начиная от самых древних времен. Да и только ли от них? Ведь человек существует на Земле, по меньшей мере, миллион лет, а вся история «древнего мира» охватывает период всего лишь в пять – десять тысяч лет. А что делал человек в предыдущие 990 тысяч лет? Какие цивилизации тогда существовали, что тогда являлось наукой о природе? Откуда взялись тайные эзотерические знания, оперирующие представлениями, о которых современные ученые вообще не могут ничего сказать?

Как выяснилось теперь, в области исследований эфирного ветра в свое время рядом ученых были проведены весьма обширные работы. Некоторые из них дали исключительно богатый позитивный материал. К ним нужно, конечно же, в первую очередь отнести исследования, проведенные замечательным американским ученым профессором Кейсовской школы прикладной науки Дейтоном Кларенсом Милле-

ром, потратившим на эти исследования практически всю свою жизнь. Не его вина, а его и наша беда в том, что все полученные им и его группой результаты современниками ученого и более поздними физиками–теоретиками отнесены к категории «непризнанных». К 1933 году, когда исследования Миллера были завершены, школа релятивистов – последователей специальной теории относительности А.Эйнштейна прочно стояла на ногах и бдительно следила за тем, чтобы ничто не могло поколебать ее устои. Такому «непризнанию» способствовали также и результаты экспериментов, в которых некоторые авторы, вовсе не желая того, наделали ошибок и не получили нужного эффекта. Их не нужно обвинять в преднамеренности такого исхода: они просто не представляли себе природу эфира, его свойства, его взаимодействие с веществом, и поэтому при проведении экспериментов ими были допущены принципиальные ошибки, не позволившие им добиться успеха. К числу таких ошибок, в частности, относится экранирование интерферометра — основного прибора, использованного для исследований эфирного ветра, металлическим экраном. Металл, как выяснилось теперь, отражает не только электромагнитные волны, но и любые ламинарные струи эфира, а поэтому измерять скорость эфирных потоков в закрытой металлической коробке — это все равно, что пытаться измерить ветер, который дует на улице, глядя на анемометр, установленный в плотно закупоренной комнате… При всей абсурдности подобного экспериментирования, увы, так оно и было. В этом читатель сможет убедиться сам, прочитав статьи Р.Кеннеди, К.Иллингворта, Е.Стаэля, А.Пиккара. К числу других ошибок относятся попытки уловить допплеровский эффект, якобы возникающий при наличии эфирного ветра, у взаимно неподвижных источника и приемника электромагнитных колебаний. И это тоже, увы, не выдумка: именно на этой основе был поставлен в 1958—1962 гг. эксперимент группой Дж. Седархольма и Ч.Таунса. Этот эксперимент не мог кончиться ничем положительным, ибо эфирный ветер дает сдвиг фазы колебания, а вовсе не меняет его частоту, и никакая высокая чувствительность прибора к изменению частоты здесь не поможет. Однако так или иначе, в корректных экспериментах ряда исследователей — Д.Миллера, Э.Морли и самого А.Майкельсона в период 1905–1933 гг. эфирный ветер был обнаружен, значение его скорости и направление были определены с неплохой для того времени точностью. Оказалось, что направление этого ветра вовсе не совпадает с направлением движения Земли, как предполагалось вначале, а почти перпендикулярно к нему. Выяснилось, что орбитальная составляющая скорости Земли почти не заметна на фоне большой космической скорости обдува Солнечной системы

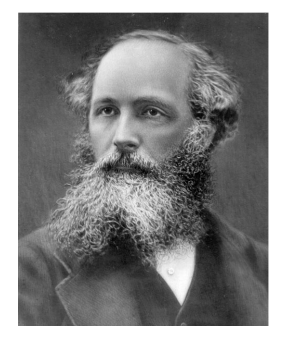
эфиром. Причины этого, так же как и причины уменьшения относительной скорости эфира и Земли по мере уменьшения высоты над поверхностью Земли, тогда остались не выясненными. Но сегодня, в связи с появлением эфиродинамики — новой области физики, опирающейся на представления о существовании в природе газоподобного эфира, эти недоуменные вопросы сняты. С позиций представления об эфире как об обычном вязком и сжимаемом газе можно непредвзято оценить и все данные, полученные Морли, Миллером и Майкельсоном об эфирном ветре, а также оценить все ошибки, допущенные исследователями, получившими «нулевые результаты».

Эфиродинамика сегодня делает лишь первые шаги. Господствующая школа релятивистов все еще игнорирует эфир, поэтому за его признание идет борьба. Она обязательно увенчается успехом, так как только на путях признания эфира оказывается возможным вскрыть внутренний механизм физических явлений, понять их сущность, что сегодня, безусловно, необходимо всем областям естествознания. Ибо без этого становится невозможным продвигаться во многих прикладных направлениях. Однако над признанием эфира по прежнему висит предубеждение относительно «отрицательного результата» эксперимента Майкельсона 1881 и 1887 гг. Для того чтобы снять это предубеждение, и понадобилось выпустить настоящий сборник переводов оригинальных статей авторов экспериментов по эфирному ветру.

У этого сборника есть и еще одна цель — убедить читателя в том, что необходимо вновь поставить эксперимент Майкельсона по обнаружению эфирного ветра, но с учетом допущенных ранее ошибок и на современной основе — с автоматической регистрацией и автоматизированной обработкой результатов измерений, на различных высотах, включая и установку интерферометра на ИСЗ — искусственных спутниках Земли. Ибо раз этот эксперимент привел в свое время к отрицанию эфира, именно он и должен вернуть эфиру его доброе имя.

1. Дж.К.Максвелл. Относительное движение эфира (1877)

Джеймс Клерк Максвелл, Лондонское королевское общество, статья «Эфир» для 9-го издания энциклопедии «Британика»



Дж.К. Максвелл (1831–1879)

Эфир (αιθηρ, вероятно, от αιθω — горю, хотя Платон, в своем «Кратиле» (410, в) производит название от его беспрерывного движения — οτι αει θει περι τον αερα ρεωαν αειθεηρ διχαιος αν χαλοτο), материальная субстанция, несравненно более тонкая, нежели видимые тела, предполагается существующей в тех частях пространства, которые кажутся пустыми.

Гипотезу эфира поддерживали различные мыслители по различным причинам. Для тех, кто поддерживал как философский принцип воззрение, что все пространство наполнено, — тот принцип, что природа боится пустоты, — было достаточным основанием, чтобы предложить всенаполняющий эфир, если бы даже всякий другой аргумент говорил против. Для Декарта, который сделал протяженность единственным существенным свойством материи, а материю — необходимым условием протяженности, само существование тел, разделенных расстоянием одно от другого, было доказательством существования непрерывной среды между ними.

Но кроме этих, крайне метафизических необходимостей существования среды, были и другие более мирские потребности в наполнении пространства эфирами. Изобретали эфиры для планет, в котором они могли бы плавать, для образования электрических атмосфер и магнитных истечений, для передачи ощущений от одной части нашего тела к другой и т. д., пока все пространство не было наполнено тремя или четырьмя эфирами. Только когда мы вспомним о весьма распространенном и нездоровом влиянии, какое вначале оказывали на науку эти гипотезы эфиров, мы будем в состоя-

нии оценить ту боязнь эфиров, которая замечается у людей здравомыслящих в течение XVIII столетия и которая, вероятно, как род наследственного предрассудка, унаследована была и покойным Джоном Стюартом Миллем.

Ученики Ньютона держались того мнения, что в факте взаимного тяготения небесных тел, согласно ньютонову закону, мы имеем полный количественный отчет об их движениях; и они стремились следовать далее по пути, проложенному Ньютоном, изучая и измеряя притяжения и отталкивания наэлектризованных и намагниченных тел и силы сцепления внутри тел, не пытаясь давать отчета в том, что это за силы.

Однако сам Ньютон пытался объяснить тяготение разницами давления в эфире (см. статью «Притяжение»); но он не опубликовывал своей теории, «так как ему не удалось на основании опытов и наблюдений дать удовлетворительные объяснения касательно этой среды и касательно того, как она действует, производя главные явления природы».[*]

---

[*] Третья книга «Математических начал натуральной философии» Ньютона заканчивается следующим местом из «Общего поучения»: «Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем все сплошные тела и в них содержащемся, коего силой и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувствование, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниям этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими законы действия этого эфира были бы точно определены и показаны». (Ньютон, Математические начала натуральной философии, Известия Николаевской Морской Академии, вып. V, стр. 592.) В письме к Бойлю от 26 февраля 1673/74 г. Ньютон подробно изложил свою точку зрения на эфир и на возможность объяснения тяготения действием эфира. (Письмо Ньютона Бойлю. Newtoni Opera. Ed. Horsley, 1782 г., т. IV, стр. 385.) Цит. по Джеймс Кларк Максвелл. Речи и статьи. Перевод под редакцией В.Ф.Миткевича. Государственное издательство технико-теоретической литературы, М.-Л.:1940., стр. 222-223 http://bit.ly/gTJKic — *Прим. ред.*

С другой стороны, все вводившие эфиры для объяснения явлений не могли указать, какова природа движения этих сред и не могли доказать, что среды, ими придуманные, производят те эффекты, для объяснения которых они и были придуманы. Только один эфир пережил остальные, это — эфир, придуманный Гюйгенсом для объяснения распространения света. Доказательства в пользу существования светоносного эфира получили прочную опору, когда были открыты новые явления света и других излучений; и свойства этой среды, выведенные на основании явлений света, оказались совершенно такими же, какие требуются для объяснения электромагнитных явлений.

Функции эфира в отношении распространения излучений

Полное доказательство в пользу волновой теории света будет дано в статье «Свет»; здесь же мы дадим краткое резюме этого доказательства, поскольку оно касается существования эфира.

Что самый свет не есть вещество, доказывается явлением интерференции. Луч света от некоторого источника разделяют известными оптическими способами на две части, и эти части, после того как ими пройдены неравные пути, заставляют снова соединиться на экране. Если одну половину луча загородить, то другая упадет на экран и осветит его, но если обе части упадут на экран, то в некоторых частях экрана покажутся темные места, доказывая этим, что из двух частей луча одна уничтожила действие другой.

Но ведь нельзя же предположить, чтобы два тела, положенные рядом, могли уничтожить друг друга; следовательно, свет не может быть веществом. Мы доказали только то, что одна часть света может быть совершенно противоположна другой, совершенно так же, как $+a$ совершенно противоположно — a, чем бы a ни было. Между физическими величинами есть такие, которые способны изменять свой знак, и есть такие, которые не могут изменять знака. Так, перемещение в одну сторону совершенно противоположно равному перемещению в обратную сторону. Такие величины служат мерами не вещества, а всегда процессов, имеющих место в веществе. Отсюда мы заключаем, что свет не вещество, а процесс, происходящий в веществе, причем процесс, происходящий в первой части света, всегда противоположен процессу, происходящему в тот же

момент во второй части, так что когда две эти части будут соединены вместе, никакого действия не будет. Чтобы определить природу того процесса, который имеет место в луче, мы изменяем длину пути одной или обеих частей луча и находим, что свет гаснет всякий раз, как разность длины путей равна нечетному числу некоторых малых расстояний, называемых длиной полуволны. Во всех остальных случаях будет большая или меньшая степень света; а когда пути равны или когда их разность составляет целое число волн, то экран кажется освещенным вчетверо ярче, чем когда на него падает только одна часть луча. В обыкновенной форме опыта эти различные случаи имеют место одновременно в различных точках экрана, так что мы видим на экране ряд полос, состоящий из темных линий, равноотстоящих одна от другой, со светлыми полосами между ними, с определенной градацией изменения яркости.

Если рассматривать, что происходит в различных точках на оси светового луча в один и тот же момент, то найдем, что если расстояние между точками равно целому числу волн, то в этих точках в один и тот же момент совершается одинаковый процесс, если же расстояние равно нечетному числу полуволн, то процесс, имеющий место в одной точке, совершенно противоположен процессу, происходящему в другой точке.

Известно, что свет распространяется с определенной скоростью (согласно Корню, в пустоте со скоростью $3{,}004 \cdot 10^{10}$ сантиметров в секунду). Если, следовательно, предположить, что некоторая движущаяся точка идет вдоль луча с этой скоростью, то мы найдем, что в каждой точке луча, когда наша движущаяся точка туда приходит, совершается один и тот же процесс. Если же на оси луча представить себе неподвижную точку, то в ней будет совершаться быстрая смена противоположных процессов, причем промежуток времени между двумя одинаковыми процессами равен времени, потребному свету на прохождение расстояния в одну длину волны.

Эти явления можно резюмировать в форме математического выражения

$$u = A\cos(nt - px + a),$$

которым определяется u — фаза процесса в точке луча, отстоящей от неподвижной точки на расстоянии x, в момент t.

Что же касается природы процесса, то ее мы не определяли. Это может быть перемещение, либо вращение, либо электрическое

возмущение, либо какая угодно физическая величина, способная принимать и положительные, и отрицательные значения. Какова бы ни была природа процесса, но если он может быть выражен уравнением этой формы, то процесс, происходящий в нашей неподвижной точке, называется *колебанием;* постоянная A называется *амплитудой;* время $2\pi/n$ называется *периодом;* а $nt - px + a$ есть *фаза.*

Конфигурация в данный момент называется *волной,* а расстояние $2\pi/p$ *длиной волны.* Скорость распространения есть n/p. Если рассматривать различные части среды, когда в них последовательно происходит тот же самый процесс, то словом «волнообразный» мы обозначаем этот характер процесса без всякого ограничения его физической природы.

Дальнейшие сведения о физической природе процесса мы черпаем из того факта, что если два луча поляризованы и если плоскость поляризации одного из них поворачивать вокруг оси луча, то когда обе плоскости поляризации будут параллельны, появятся вышеописанные явления интерференции. Если поворачивать плоскость далее, то темные и светлые полосы сделаются уже не так отчетливы, и если плоскости поляризации будут образовывать прямой угол, то освещение экрана сделается равномерным и никаких следов интерференции заметно не будет.

Следовательно, физический процесс, представляемый распространением света, должен быть не только величиной, обладающей направлением, должен быть не только вектором, способным менять свое направление на противоположное, но этот вектор должен стоять к лучу под прямым углом и находиться либо в плоскости поляризации, либо в плоскости, ей перпендикулярной, Френель предполагал, что это есть перемещение среды, перпендикулярное к плоскости поляризации. Мак-Келлог и Нейман предполагали, что это — перемещение в самой плоскости поляризации. Сравнение этих двух теорий нужно отложить до рассмотрения явлений в плотных средах.

Но этот процесс может быть и электромагнитным, и так как в этом случае электрическое смещение и магнитное возмущение друг другу перпендикулярны, то можно предположить, что любое из них совершается в плоскости поляризации.

Все, что было сказано относительно излучений, действующих на наш глаз и называемых нами светом, приложимо также и к тем

излучениям, которые не производят на наш глаз никакого светового впечатления, так как наблюдались явления излучения, о которых мы узнаем только по их тепловым или по их химическим действиям.

Упругость, твердость и плотность эфира

Определив таким образом геометрический характер процесса, мы должны теперь обратить внимание на среду, в которой он имеет место. Какова бы ни была эта среда, мы будем называть ее эфиром.

Во-первых, она способна передавать энергию. Передаваемое ею излучение не только способно действовать на наши чувства, что уже само по себе служит доказательством производимой работы, но и нагревать тела, ого поглощающие; а измеряя теплоту, сообщаемую таким телам, можно вычислять энергию излучения.

Во-вторых, эта энергия передается от тела излучающего телу поглощающему не мгновенно, но некоторое время существует в среде.

Примем ли мы волновую теорию в форме, приданной ей Френелем или Мак-Келлогом, половина этой энергии существует в форме потенциальной энергии, зависящей от нарушения равновесного состояния элементарных участков среды, а половина — в форме кинетической энергии, производимой движением среды. Следовательно, мы должны предположить, что эфир обладает упругостью, подобной упругости твердого тела, а также, что он имеет конечную плотность. Если взять цифру Пулье, что прямой солнечный свет, падая в течение минуты на квадратный сантиметр, сообщает 1,7633 единиц теплоты, то эта теплота эквивалентна $1{,}234\cdot 10^6$ эргам в секунду. Разделив это число на $3{,}004\cdot 10^{10}$, то есть на скорость света в сантиметрах в секунду, мы найдем, что энергия в кубическом сантиметре составляет $4{,}1\cdot 10^{-5}$ эрга. Вблизи Солнца энергия в кубическом сантиметре приблизительно в 46000 больше, то есть равна 1,886 эрга. Если, следуя сэру В. Томсону, допустить, что амплитуда не больше одной сотой длины волны, то будет

$$Ap = \frac{2\pi}{100}, \text{ или около } \frac{1}{16}; \text{ так что}$$

• Энергия в куб. сантиметре = $\frac{1}{2}\rho V^2 A^2 p^2 = 1{,}886$ эргам [1].

• Наибольшее тангенциальное напряжение на кв. сантиметр = $\rho V^2 Ap = 30{,}176$ динам.

• Коэффициент упругости эфира = $\rho V^2 = 842{,}8$.

• Плотность эфира $\rho = 9{,}36 \cdot 10^{-19}$.

Коэффициент упругости стали составляет около $8 \cdot 10^{11}$, а стекла $2{,}4 \cdot 10^{11}$. Если бы температура атмосферы всюду была 0° С и если бы она находилась в равновесии вокруг Земли, предполагаемой находящейся в покое, то ее плотность в бесконечном удалении от Земли была бы $3 \cdot 10^{-346}$, что почти в $1{,}8 \cdot 10^{327}$, раз меньше указанной плотности эфира. Следовательно, в межпланетном пространстве плотность эфира весьма велика в сравнении с плотностью разреженной атмосферы межпланетного пространства, но вся масса эфира внутри сферы, радиус которой равен расстоянию до самой отдаленной планеты, весьма мала сравнительно с массой самих планет [2].

Эфир отличен от обыкновенной материи

Когда свет движется через воздух, то очевидно, что среда, по которой свет распространяется, не есть самый воздух, потому что, во-первых, воздух не может передавать поперечных колебаний, а продольные колебания, им передаваемые, распространяются почти в миллион раз медленнее света. Твердые прозрачные тела, как стекло и кристаллы, без сомнения, способны передавать поперечные колебания, но скорость передачи ими этих колебаний все-таки в сотни тысяч раз меньше скорости, с которой свет передается через эти тела. Следовательно, мы вынуждены принять, что среда, по которой свет распространяется, есть нечто отличное от прозрачной

---

[1] По мнению Франкфурта (1968), числа этого столбца неверно выведены из данных. Их нужно заменить числами: 1,886; 60,352; 965,632 и $1{,}07 \cdot 10^{-18}$. См. также Приложение 2 настоящего сборника. *Прим. Ред.*

[2] См.: сэр В. Томсон. «Trans. R. S. Edin.,», v. XXI, стр. 60.

среды, нам известной, хотя она и проникает во все прозрачные тела, а, вероятно, также и в тела непрозрачные.

Однако скорость света различна в различных прозрачных средах, и, следовательно, мы должны предположить, что эти среды принимают некоторое участие в процессе, и что их частицы колеблются, как и частицы эфира. Однако энергия колебания частиц обыкновенного вещества должна быть значительно меньше энергии эфира, ибо иначе количество падающего света, отражающегося при переходе луча из пустоты в стекло или из стекла в пустоту, было бы гораздо больше, чем это бывает на самом деле.

Относительное движение эфира

Итак, эфир внутри плотных тел мы должны рассматривать как нечто такое, что слабо связано с плотными телами, и теперь нам нужно исследовать, несут ли с собой эти твердые тела, когда они движутся по великому океану эфира, содержащийся в них эфир или эфир проходит сквозь них, подобно тому, как морская вода проходит сквозь ячейки сети, которая тянется за лодкой. Если бы можно было определить скорость света, наблюдая время, употребляемое им на прохождение от одного пункта до другого на поверхности Земли, то, сравнивая наблюдаемые скорости движения в противоположных направлениях, мы могли бы определить скорость эфира по отношению к этим земным пунктам. Но ***все методы, которые можно применить к нахождению скорости света из земных опытов, зависят от измерения времени, необходимого для двойного перехода от одного пункта до другого и обратно, и увеличение этого времени вследствие относительной скорости эфира, равное скорости Земли на ее орбите, составило бы всего около одной стомиллионной доли всего времени перехода и было бы, следовательно, совершенно незаметно*** (курсив мой — *В.А.*)

Теория движения эфира едва ли достаточно развита, чтобы позволить нам составить строго математическую теорию аберрации света, принимая в соображение движение эфира. Тем не менее профессор Стокс показал, что, согласно весьма вероятной гипотезе относительно движения эфира, на величину аберрации это движение не должно заметным образом влиять.

Единственный возможный способ прямого определения относительной скорости эфира по отношению к солнечной системе за-

ключается в сравнении значений скорости света, выведенных из наблюдений затмений спутников Юпитера, когда Юпитер виден с Земли приблизительно в противоположных точках эклиптики.

Араго предложил сравнивать отклонения луча света, посылаемого звездой, по выходе его из ахроматической призмы, причем направление луча в призме образовывало бы различные углы с направлением движения Земли по ее орбите. Если бы эфир передвигался в призме быстро, то можно было бы ожидать, что отклонение неодинаково, в зависимости от того, было ли направление света таково же, как и направление движения эфира, или эти направления были противоположны.[*]

Автор [3] расположил опыт более удобным образом, взяв обыкновенный спектроскоп, в котором щель коллиматора была заменена плоским зеркалом. Перекрещивающиеся нити наблюдательной трубы были освещены. Свет от некоторой точки нити проходил сквозь объектив, а затем сквозь призмы в виде пучка параллельных лучей, оттуда падал на объектив коллиматора, сходился в фокусе зеркала, которое отражало его, снова проходил через объектив и образовывал пучок, проходивший сквозь каждую призму параллельно своему первоначальному направлению, так что объектив наблюдательной трубы сводил его в фокус, совпадавший с той точкой перекрещенных нитей, из которой вначале он вышел. Так как изображение совпадало с предметом, то его нельзя было видеть прямо, но, отклоняя пучок путем отражения части его от плоской стеклянной поверхности, было найдено, что можно было отчетливо различать изображение тончайшей паутины, хотя свет, дававший изображение, дважды прошел сквозь три призмы под углом 60°. Сперва прибор поставлен был так, чтобы направление света при первом прохождении сквозь вторую призму совпадало с направле-

---

[*] Иван (ivanik1@yandex.ru) предполагает, что пионерские работы Араго (1811 г.) по измерению спектров звёзд в направлении восток — запад не показали положительный результат только из-за использования орбитальной, а не галактической привязки апекса эфирного ветра (в направлении север — юг) в соответствии с более современными представлениями Миллера и Ацюковского. — *Прим. ред.*

[3] «Phil. Trans», CLVIII (1868), p. 532. [Сообщено проф. Максвеллом д-ру Гюгтинсу и включено им в мемуар о спектрах некоторых звезд и туманностей].

нием движения Земли по ее орбите. Затем прибор поворачивали так, чтобы направление света было противоположно направлению движения Земли. Если эта причина увеличивала либо уменьшала отклонение луча призмой на первом пути, то это отклонение было бы уменьшено либо увеличено на обратном пути и изображение появилось бы по одну сторону от предмета. Если прибор повернуть кругом, оно появилось бы по другую сторону. Опыт производили в разные времена года, но получались только отрицательные результаты. Однако из этого опыта еще нельзя сделать решительного заключения, что эфир близ земной поверхности увлекается вместе с Землей по ее орбите, ибо Стокс [4] показал, что, согласно гипотезе Френеля, относительная скорость эфира внутри призмы относилась бы к скорости эфира вне ее обратно пропорционально квадрату показателя преломления и что в этом случае отклонение не изменялось бы заметным образом вследствие движения призмы в эфире.

Однако Физо [5*], наблюдая изменение плоскости поляризации света, пропускаемого наклонно сквозь ряд стеклянных пластинок, получил, как он думает, доказательство разницы в результате соответственно различию направления луча в пространстве, а Ангстрем пришел к подобным же результатам путем дифракции. Автору неизвестно, подвергались ли эти трудные опыты повторной проверке.

В другом опыте Физо, заслуживающем, по-видимому, большого доверия, он наблюдал, что распространение света в текущей воде совершается с большей скоростью в направлении движения воды, нежели в противоположном направлении, но что изменение скорости меньше того, которое имело бы место вследствие действительной скорости воды, и что явление не наблюдается, если воду

[4] «Phil. Magaz.», 1846, p. 53.

[5] «Ann. de Chimie et de Physique», Feb., 1860.

[*] Иван (ivanik1@yandex.ru) сообщает о проведенном им анализе результата опытов Физо 1859 года http://bit.ly/j04VCd по эфирному ветру, которые, по его мнению, соответствуют (будучи нанесенными на график с привязкой к звездному времени) более поздним результатам Миллера (1925) и Галаева (1998, 2001). Попытки воспроизвести этот эксперимент Релеем (1902), Брайсом (1905) и Штрассером (1907) не увенчались успехом, по его мнению, из-за экранировки прибора металлом с целью уменьшения влияния окружающей среды на условия эксперимента. http://bit.ly/isFeZZ — *Прим. ред.*

заменить воздухом. Этот опыт, по-видимому, скорее подтверждает френелеву теорию эфира; но весь вопрос о состоянии светоносной среды возле Земли и об ее отношении к обыкновенной материи еще далеко не решен опытом.

Функции эфира в явлениях электромагнетизма

Фарадей высказывал догадку, что та же самая среда, которая участвует в распространении света, могла бы также быть агентом и в электромагнитных явлениях. «Что касается меня, – говорил он, – то, рассматривая отношение пустоты к магнитной силе и общий характер магнитных явлений вне магнита, я скорее склонен думать, что распространение силы есть действие вне магнита, нежели что эти действия суть простые притяжения и отталкивания на расстоянии. Подобное действие может быть функцией эфира; ибо нет ничего невероятного в том, что если существует эфир, то он имеет и иные функции, кроме простой передачи излучений»[6]. Последующие изыскания только подтвердили эту догадку.

Электрическая энергия бывает двоякого рода – электростатическая и электрокинетическая. У нас имеются основания к допущению, что первая зависит от свойства среды, в силу которого электрическое смещение вызывает электродвижущую силу в противоположном направлении, причем электродвижущая сила для единицы смещения обратно пропорциональна диэлектрической постоянной среды. С другой стороны, электрокинетическая энергия есть просто энергия движения, вызываемого в среде электрическими токами и магнитами, причем это движение не ограничивается несущими ток проволоками или магнитами, но существует всюду, где только можно найти магнитную силу.

Электромагнитная теория света

Итак, свойства электромагнитной среды, насколько можно судить, подобны свойствам светоносной среды, но лучший способ для их сравнения между собой состоит в определении скорости, с которой электромагнитное возмущение распространяется в среде. Если бы она равнялась скорости света, то у нас были бы веские ос-

[6] «Experimental Researches», 3075.

нования к допущению, что обе среды, занимая, как и есть на деле, то же самое пространство, в действительности тождественны. Данные, на которых можно основывать вычисления, доставляются опытами, которые были сделаны с целью сравнения электромагнитной системы единиц с электростатической. Скорость распространения электромагнитного возмущения в воздухе, как она вычислена на основании различных данных, не больше отличается от скорости света в воздухе, как она определена различными наблюдениями, чем множество вычисленных значений этих количеств разнятся одно от другого.

Если скорость распространения электромагнитного возмущения равна скорости света в других прозрачных средах, то в немагнитных средах диэлектрическая постоянная Должна быть равна квадрату показателя преломления.

Больцман [7] нашел, что это хорошо оправдывается для газов, им исследованных. Жидкости и твердые тела обнаруживают значительные уклонения от этого соотношения, но мы едва ли можем надеяться даже на приблизительную проверку, если будем сравнивать результаты наших медленно протекающих электрических опытов со световыми колебаниями, совершающимися биллионы раз в секунду.

Волновая теория в форме, рассматривающей явления света как движение упруго твердого тела, до сих пор борется с разного рода трудностями [8].

Первая и самая важная из них та, что теория указывает возможность колебаний нормальных к поверхности волны. Единственное средство объяснить себе тот факт, что оптические явления, которые могли бы возникнуть благодаря этим волнам, не могут иметь места, это – допустить, что эфир несжимаем.

Вторая трудность, это – трудность ответить на вопрос, почему явления отражения лучше объясняются гипотезой, что колебания перпендикулярны к плоскости поляризации, между тем как явления двойного преломления требуют допущения, что колебания совершаются в этой плоскости?

[7] «Wiener Sitzb.», 23, April, 1874.

[8] См.: Стокс. Report on Double Refraction. 1862, p. 253.

Третья трудность заключается в том, что для объяснения того факта, что в двупреломляющих кристаллах скорость лучей во всякой главной плоскости, поляризованных в этой плоскости, одинакова, мы должны допустить некоторые в высшей степени искусственные соотношения между коэффициентами упругости.

Электромагнитная теория света удовлетворяет всем этим требованиям единственной гипотезой [9], а именно, что электрическое смещение перпендикулярно к плоскости поляризации. Никаких нормальных смещений существовать не может, и допускается, что в двупреломляющих кристаллах диэлектрическая постоянная для каждой главной оси равна квадрату показателя преломления луча, перпендикулярного к этой оси и поляризованного в плоскости, перпендикулярной к этой оси. Больцман [10] нашел, что эти соотношения приблизительно верны в случае кристаллизованной серы – тела, имеющего неравные оси. Диэлектрические постоянные для этих осей соответственно равны: 4,773, 3,970, 3,811, а квадраты показателей преломления: 4,576, 3,886, 3,591.

Физическое строение эфира

Каково строение эфира? Молекулярное оно или эфир непрерывен?

Мы знаем, что эфир передает поперечные колебания на весьма большие расстояния без чувствительной потери энергии путем рассеяния. Молекулярная среда, движущаяся при условии, что группа соседних друг другу молекул остается группой соседних друг другу молекул и во все время движения, способна передавать колебания без большого рассеяния энергии, но если движение таково, что группы молекулы не просто слегка изменяются в конфигурации, но совершенно разбиваются, так что составляющие их молекулу переходят в новые типы группировок, то при переходе от одного типа группировок к другому энергия правильных колебаний рассеивает-

[9] Over de theorie der terugkaatsing en breking van het licht. Akademisch Proefschrift door H. A. Lorentz, 1875.

[10] Über die Verschidenheit der Dielectricitätsconstante des Krystallisirten Schwefels nach verschidenen Richtungen, von Ludwig Boltzmann. «Wiener Sitzb.», 8 Oct., 1874.

ся в энергию хаотических движений, которую мы называем теплотой.

Следовательно, нельзя допустить, что строение эфира подобно строению газа, в котором молекулы находятся всегда в состоянии хаотического движения, ибо в такой среде поперечное колебание на протяжении одной длины волны ослабляется до величины менее чем одна пятисотая начальной амплитуды. Если эфир имеет молекулярное строение, то группировка молекул должна сохранять один и тот же тип и конфигурация групп должна только слегка изменяться во время движения.[*]

Тольвер Престон [11] предположил, что эфир подобен газу, молекулы которого чрезвычайно редко сталкиваются друг с другом, так что их средний свободный пробег гораздо больше всяких планетных расстояний. Он не исследовал свойств такой среды сколь-нибудь обстоятельно, но легко видеть, что мы можем составить теорию, по которой молекулы *никогда* не сталкивались бы одна с другой при их поступательном движении, но летали бы во всех направлениях со скоростью света; и если, далее, мы предположим, что колеблющиеся тела имеют способность сообщать этим молекулам некоторые векторные свойства (как, например, вращение около осей), которые не мешали бы их поступательному движению, – свойства, которые молекулы носили бы с собой, и если изменение

---

[*] Д.И.Менделеев в октябре 1902 г. описывал эфир как «легчайший — в этом отношении предельный — газ, обладающий высокою степенью проницаемости» и сделал попытку внести эфир под названием «элемента *x*» — ньютония — в периодический закон. — *Прим. ред.*

Періодическая система элементовъ по группамъ и рядамъ.

Ряды	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ								
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
0	*x*	—	—	—	—	—	—	—	
1	*y*	Водородъ H 1,008	—	—	—	—	—	—	
2	Гелій He 1,008	Литій Li 7,03	Бериллій Be 9,1	Боръ B 11,0	Углеродъ C 12,0	Азотъ N 14,01	Кислородъ O 16,00	Фторъ F 19,0	

Ньютоний (элемент эфира)

Начало периодической системы элементов по Д.И.Менделееву с учетом элемента эфира x. Д. И. Менделеев «Попытка химического понимания мирового эфира», СПб., 1905, стр. 25. // по Д. И. Менделеев «Периодический закон». Изд. АН СССР, Москва, 1958. с. 497. — *Прим. ред.*

[11] «Phil. Mag.», Sept. and Nov. 1877.

среднего значения этого вектора для всех молекул внутри элемента объема было бы процессом, который мы называем светом, тогда уравнения, выражающие это среднее, будут точно такой же формы, как и уравнения, выражающие смещение в обыкновенной теории.

Часто утверждают, что тот простой факт, что среда упруга или сжимаема, есть доказательство того, что она непрерывна, но составлена из отдельных частиц, разделенных пустыми промежутками. Но нет ничего несовместимого с опытом в предположении, что упругость или сжимаемость суть свойства каждой части, как бы мала она ни была, и можно представить, что вся среда разделена на такие части, а в таком случае среда была бы строго непрерывна. Среда, однородная и непрерывная в отношении ее плотности, может быть, однако, сделана разнородной ее движением, как в гипотезе В. Томсона о вихревых молекулах в совершенной жидкости (см. статью «Атом»).

Эфир, если это среда электромагнитных явлений, вероятно, молекулярен, по крайней мере в этом смысле.

Сэр В. Томсон [12] показал, что влияние магнетизма на свет, открытое Фарадеем, зависит от направления движения движущихся частиц, и что оно указывает на вращательное движение в среде, когда она намагничена. См. также «Трактат» Максвелла § 806 и след.

Затем, очевидно, что это вращение не может быть вращением среды как целого около некоторой оси, так как магнитное поле может иметь некоторую ширину, и нет никаких доказательств существования движения, скорость которого возрастает с расстоянием от одной постоянной линии в поле. Если существует здесь вращательное движение, то оно должно быть вращением весьма малых участков среды, каждого около его собственной оси, так что среда должна распадаться на множество молекулярных вихрей.

У нас пока нет данных, из которых можно было бы определить размеры или число этих молекулярных вихрей. Но мы знаем, что магнитная сила в некоторой области вокруг магнита сохраняется, пока сталь удерживает свой магнетизм, и так как у нас нет оснований к допущению, что магнит может потерять весь свой магнетизм просто с течением времени, то мы заключаем, что молекулярные вихри не требуют постоянной затраты работы на поддержание сво-

[12] «Proceedings of the Royal Society», June, 1856.

его движения и что, следовательно, это движение не необходимо ведет за собой рассеяние энергии.

Пока еще не создано такой теории строения эфира, которая объясняла бы систему молекулярных вихрей, сохраняющихся неограниченное время без постоянного рассеяния своей энергии в то хаотическое движение среды, которое в обыкновенных средах называют теплотой.

С какими бы трудностями в наших попытках выработать состоятельное представление о строении эфира ни приходилось нам сталкиваться, но несомненно, что межпланетное и межзвездное пространства не суть пространства пустые, но заняты материальной субстанцией, или телом, самым обширным и, нужно думать, самым однородным, какое только нам известно.

Приспособлен ли этот широко разлившийся однородный океан изотропной материи к тому, чтобы не только быть средой физического взаимодействия между отдаленными телами и выполнять другие физические функции, о которых, может быть, пока мы не имеем никакого понятия, но и к тому, чтобы, как внушает нам автор «Невидимой Вселенной», образовать собой материальный организм существ, у которых функции жизни и мысли так же высоки или даже выше, нежели наши, это вопрос, лежащий далеко за пределами умозрений физики.

Дж. К.Максвелл. Эфир. Статьи и речи. М.: Наука, 1968. Составитель Франкфурт. С. 193—206. http://bit.ly/eHXB7T
Maxwell, James Clerk (1878), “Ether”, Encyclopædia Britannica Ninth Edition 8: 568—572 http://bit.ly/fHkOF8

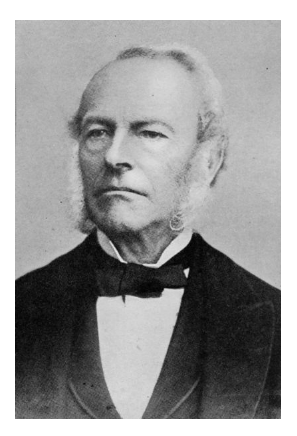
Дж.К.Максвелл. О возможном способе обнаружения движения Солнечной системы через светоносный эфир. Письмо Тодду (1879)

Д.Г.Стокс.

Письмо от покойного профессора Дж. Клерка Максвелла, Лондонское королевское общество, г-ну Д. П. Тодду, Военно–морская обсерватория (Nautical Almanac Office), Вашингтон, США. Получено от профессора Стокса, S.U.S., 7 января 1880 г.

Г-н Тодд любезно предоставил мне копию этого письма, и позволил мне его использовать.

Поскольку замечание, упомянутое Максвеллом в «Британской энциклопедии», очень кратко и ограниченно единственным предложением, и поскольку тема представляет огромный интерес, я решил передать это письмо Королевскому обществу.



Джордж Габриэль Стокс (1819–1903)

Из исследований, которые производил г-н Хаггинс над радиальным компонентом относительной скорости нашего Солнца и некоторых звезд, коэффициент неравенства, который мы могли бы ожидать как не маловероятный, может быть сопоставим только с приблизительно половиной секунды по времени. Определение его значения, без сомнения, потребовало бы очень точных измерений. Напротив, априори нам известно, что движение могло бы быть намного большим указанному значению; и у этой идеи есть собственная ценность, независимо от возможности ее реализации на практике.

В своем письме мне г-н Тодд заметил: «Я расцениваю важность сообщения как экстраординарную, хотя (как вы заметите по моему ответу) похоже на то, что пройдет долгое время, прежде чем наши таблицы спутников Юпитера станут достаточно точными, чтобы произвести практические измерения».

Я не думал, что целесообразно задерживать публикацию письма в надежде, что что-то относящееся к этому предмету могло бы быть найдено среди бумаг Максвелла.

Письмо Д.К.Максвелла Д.П.Тодду (Копия).

Кавендишская лаборатория, Кембридж, 19 марта 1879.
(Copy.) Cavendish Laboratory, Cambridge, 19th March, 1879.

Сэр!

Я с большим удовольствием получил таблицы спутников Юпитера, которые Вы мне любезно выслали, и будучи ободрен Вашим интересом к системе Юпитера, хотел бы спросить, сделали ли Вы какое-либо специальное исследование очевидной задержки затмений, вызванных геоцентрическим положением Юпитера.

Мне сообщили, что наблюдения такого рода были в некоторой степени «выведены из моды» другими методами определения величин, связанных со скоростью света, но они предоставляют *единственный*, насколько я знаю, метод получения любой оценки направления и величины скорости Солнца относительно светоносной среды. Даже если бы мы были уверены в теории аберрации, мы можем получить только различия в расположении звезд, а при наземных методах определения скорости света, при которых свет возвращается по тому же пути обратно таким образом, что скорость Земли по отношению к эфиру изменила бы время двойного прохода на величину, зависящую от квадрата отношения скорости Земли к скорости света, оно слишком мало для возможности его наблюдения.

Но если JE – расстояние от Юпитера до Земли, l – геоцентрическая долгота, l' – долгота и λ – широта направления, по которому солнце движется сквозь эфир со скоростью v, и если V – скорость света и t – время пути от J к E, тогда

$$JE = \left[V - v\cos\lambda\cos(l - l')\right]t.$$

Сравнением значений t, когда Юпитер находится в разных знаках Зодиака, можно было бы определить l' и $v\cos\lambda$.

Я не вижу возможности определить λ, пока мы не имеем планету с орбитой, очень сильно наклоненной к эклиптике. Можно заметить, что пока определение *V*, скорости света, этим методом

зависит от различий JE, то есть, от диаметра земной орбиты, определение $v\cos\lambda$ зависит от JE само по себе, в значительно большей степени.

Но метод недоступен без хороших таблиц движения спутников и, поскольку я не астроном, я не знаю, была ли, путем сравнения наблюдений с таблицами Дамуазо, сделана любая попытка рассмотреть значение $v\cos\lambda$.



Дэвид Пек Тодд (1855 – 1939), американский астроном

Поэтому я взял на себя смелость написать Вам, ибо этот вопрос находится вне досягаемости тех, кто не производил специальное исследование спутников.

В статье «Эфир» в девятом издании «Британской энциклопедии» я собрал все известные мне факты об относительном движении эфира и тел, которые движутся в нем, и показал, что ничто не позволяет сделать вывод об этом относительном движении из любых явлений, наблюдаемых до сих пор, за исключением затмений, и т. д., спутников планеты, предпочтительно более отдаленных.

Если вы знаете о какой-либо работе, проделанной в этом направлении Вами лично или кем-то другим, я высоко оценю эту любезность, если Вы сообщите о ней.

Поверьте мне. С уважением, (Подпись) Дж. Клерк Максвелл.

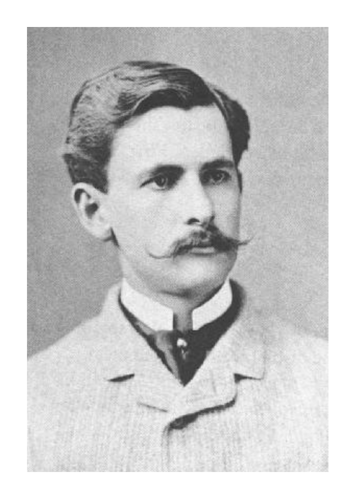
Адресат: Д. П. Тодд, эсквайр.

- ***On a Possible Mode of Detecting a Motion of the Solar System through the Luminiferous Ether. By the late Professor J. Clerk Maxwell, F.R.S. In a Letter to Mr. D. P. Todd, of the Nautical Almanac Office, Washington, U.S. Communicated by Professor Stokes, Sec. U.S. Received January 7, 1880. Proceedings of the Royal Society of London. 1879, pp.108-109.*** **http://bit.ly/fQZfKk**
- ***James Clerk Maxwell, P. M. Harman. The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell v. 3]; 1874—1879, — 2002 — pp. 767-769.***
- ***Maxwell, James Clerk. 1880. «Letter to David Peck Todd, 19 March 1879.» Nature 21:314-15.***
- **http://bit.ly/f9LnP2**

2. А.Майкельсон. Относительное движение Земли и светоносный эфир (1881)

Альберт А.Майкельсон, магистр, ВМФ США

The relative motion of the Earth and the Luminiferous ether. Albert A. Michelson, Master, U.S.Navy]



Альберт Абрахам Майкельсон (1852 – 1931)

Волновая теория света допускает существование среды, называемой эфиром, колебания которой создают явления тепла и света и которая должна заполнять все пространство. По мнению Френеля эфир, заключенный в оптической среде, принимает участие в движении этой среды в степени, зависящей от коэффициента преломления. Для воздуха это движение столь мало, что им можно пренебречь.

Если допустить, что эфир находится в покое, а Земля движется сквозь него, то время, необходимое для прохождения света из одной точки в другую на поверхности Земли, будет зависеть от направления его движения.

Пусть V — скорость света; v — скорость Земли относительно эфира; D — расстояние между двумя точками; d — расстояние, которое проходит Земля за то время, за которое свет проходит из одной точки в другую; d_1 — расстояние, которое проходит Земля, когда свет движется в противоположном направлении.

Предположим, что направление линии, соединяющей две точки, совпадает с направлением движения Земли, и допустим, что T — время, необходимое для прохождения света из одной точки в другую, а T_1 — время, необходимое свету для прохождения в противоположном направлении.



Здание астрофизической обсерватории в Потсдаме, где проходили эксперименты. http://bit.ly/ih6oeh



Музейная реконструкция установки Майкельсона в подвале обсерватории на Telegraphenberg в Потсдаме (оригинальное устройство уже не существует). http://bit.ly/grkLQD

Пусть далее T_0 — время, которое было бы необходимо для совершения перемещения, если бы Земля находилась в покое. Тогда

$$T = \frac{D+d}{V} = \frac{d}{v} \text{; и}$$

$$T_1 = \frac{D-d}{V} = \frac{d_1}{v}$$

Из этих отношений мы находим, что

$$d = D\frac{v}{V-v} \text{ и } d_1 = D\frac{v}{V+v},$$

откуда

$$T = \frac{D}{V-v} \text{ и } T_1 = \frac{D}{V+v};$$

$$T - T_1 = 2T_0\frac{v}{V} \text{ *примерно*, и}$$

$$v = V\frac{T-T_1}{2T_0}.$$

THE

AMERICAN

JOURNAL OF SCIENCE.

EDITORS

JAMES D. AND E. S. DANA, AND B. SILLIMAN.

ASSOCIATE EDITORS

PROFESSORS ASA GRAY, JOSIAH P. COOKE, AND JOHN TROWBRIDGE, OF CAMBRIDGE,

PROFESSORS H. A. NEWTON AND A. E. VERRILL, OF NEW HAVEN,

PROFESSOR GEORGE F. BARKER, OF PHILADELPHIA.

THIRD SERIES.

VOL. XXII.—[WHOLE NUMBER, CXXII.]

Nos. 127—132.

JULY TO DECEMBER, 1881.

WITH SIX PLATES.

NEW HAVEN, CONN.: J. D. & E. S. DANA.
1881.

Обложка оригинального издания *American Journal of Science* 1881 года

Если бы можно было измерить $T - T_1$, то, зная V и T, мы могли бы найти v — скорость движения Земли сквозь эфир.

В письме, опубликованном в «Nature» вскоре после его смерти, Клерк Максвелл отметил, что $T - T_1$ может быть вычислено путем измерения скорости света во время затмений спутников Юпитера в моменты, когда планета находится относительно Земли в различных направлениях, но для этого точность наблюдений должна существенно превысить ту, которая до сих пор была получена. В том же письме было также отмечено, что причиной того, что такие измерения не могли быть сделаны на поверхности Земли, было то обстоятельство, что мы не располагаем методом, который позволил бы обойтись без возвращения света по его траектории, при котором он потеряет почти все, что было приобретено при его прямом прохождении.

Разница, зависящая от квадрата отношения двух скоростей, по мнению Максвелла, слишком мала, чтобы можно было ее измерить.

Дальнейшее изложение должно показать, тем не менее, что при использовании длины волны желтого света в качестве стандарта эту величину, если она существует, можно легко измерить.

Используя ту же систему обозначений, что и раньше, получим $T=\dfrac{D}{V-v}$ и $T_1=\dfrac{D}{V+v}$. Полное время, необходимое для прохождения и возвращения света, составит: $T+T_1=2D\dfrac{V}{V^2-v^2}$.

Однако, если свет прошел в направлениях под прямым углом к движению Земли, он будет свободен от влияния этого движения, и время прохождения его в прямом и обратном направлениях составит $2\dfrac{D}{V}=2T_0$. Разница между величинами $T+T_1$, и $2T_0$ составит

$$2DV\left(\frac{1}{V^2-v^2}-\frac{1}{V^2}\right)=\tau;\quad \tau=2DV\frac{v^2}{V^2\left(V^2-v^2\right)}$$

или, примерно $2T_0\dfrac{v^2}{V^2}$. За время τ свет пройдет расстояние

$$V\tau=2VT_0\frac{v^2}{V^2}=2D\frac{v^2}{V^2}.$$

Таким образом, действительное расстояние, которое проходит свет в первом случае, больше, чем во втором, на величину $2D\dfrac{v^2}{V^2}$.

Принимая во внимание лишь скорость движения Земли по ее орбите, получим приблизительно, что

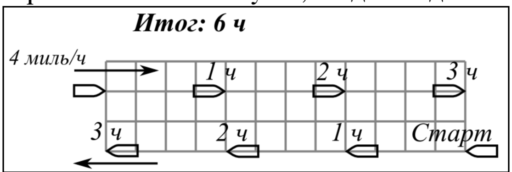
$$\frac{v}{V}=\frac{1}{10\,000}\quad\text{и}\quad\frac{v^2}{V^2}=\frac{1}{100\,000\,000}.$$

Если D = 1200 мм или то же самое в длинах волн желтого света – 2.000.000 волн, то $2D\dfrac{v^2}{V^2}=\dfrac{4}{100}$.

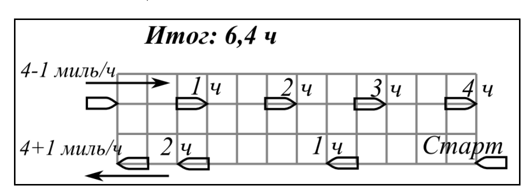
Если, таким образом, аппарат сконструирован так, что в нем присутствуют два луча света, которые проходят по траекториям, расположенным под прямым углом друг к другу, и интерферируют между собой, то луч, который проходил в направлении движения Земли, в действительности пройдет на 4/100 длины волны больше, чем он прошел бы, если бы Земля находилась в покое. [13] Второй луч, проходящий под прямым углом к движению, не будет испытывать этого влияния. [14]

---

[13] В книге «Световые волны и их применение» (М. — Л.: Гостехиздат, 1934. с. 127, «Light waves and their uses», The University of Chicago Press, 1903, с. 157 http://bit.ly/hZscjs) Майкельсон упоминал простую механическую аналогию эксперимента с эфирным ветром. «Представим себе гребца в лодке, и притом сначала на спокойном озере, а затем на реке. Если он движется со скоростью, например, 4 мили в час и если расстояние между станциями равняется 12 миль, то ему необходимо 3 часа, чтобы проехать это расстояние, и 3 часа, чтобы вернуться, т.е. в сумме 6 часов. Но это верно только в том случае, когда в воде нет течения.



Но если существует течение, скорость которого равна, например, 1 миле в час, то время, потребное для того, чтобы проехать все расстояние по течению, будет равняться не 12:4, а 12:(4 + 1), т.е. 2,4 часа. Время, необходимое для обратного пути, т.е. против течения, будет равняться 12:(4 – 1), т.е. 4 часам, и вместе с первым промежутком это составит 6,4 часа вместо прежних 6 часов» — *Прим. ред. (корректировка перевода и рисунки — мои — Ч.Р.).*



[14] Это утверждение было признано ошибочным Майкельсоном и Морли в статье 1887 года: влияние при поперечном движении также имеется, но составляет меньшее значение. Вычисление по правилу треугольника (тео-

Если же теперь аппарат будет повернут на угол 90° таким образом, что второй луч пройдет в направлении движения Земли, то его траектория увеличится на 4/100 длины волны. Общее же изменение в положении интерференционных полос составит 8/100 расстояния между полосами, величину, легко измеряемую.

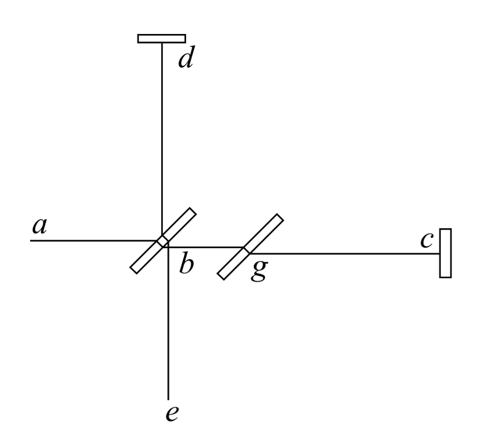


Рис. 2.1. Схема интерферометра Майкельсона

Условия для создания интерференции двух лучей света, пересекающихся под прямым углом друг к другу, были созданы следующим простым образом.

Свет от лампы *a* (рис. 2.1) пропускался через плоскую параллельную стеклянную пластину *b*, частично проходя к зеркалу c, а частично отражаясь к зеркалу *d*. Зеркала *c* и *d* были выполнены из плоского стекла и посеребрены на передней поверхности. От них свет отра-

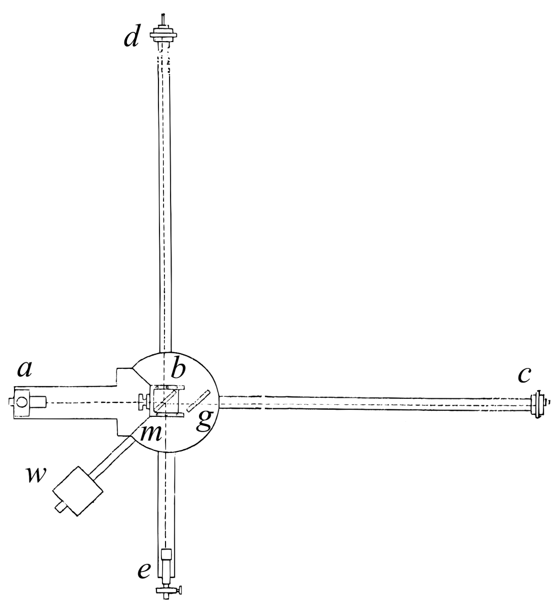


Рис. 2.2. Интерферометр: вид в плане

реме Пифагора) дает результат 6,185 ч с теми же условиями примера. — *Прим. ред.*

жался к *b*, где одна часть отражалась, а другая преломлялась, и оба совпадали вдоль участка *be*.

Расстояние *bc* выполнено равным *bd*, а пластина из стекла g установлена на пути луча *bc* с тем, чтобы скомпенсировать толщину стекла *b*, которое пересекается лучом *bd*; два луча проходят по равным траекториям, и они в состоянии интерферировать.

На рис. 2.2 прибор изображен в плане, а на рис. 2.3 в перспективе. Обозначения на одном рисунке соответствуют обозначениям на другом.

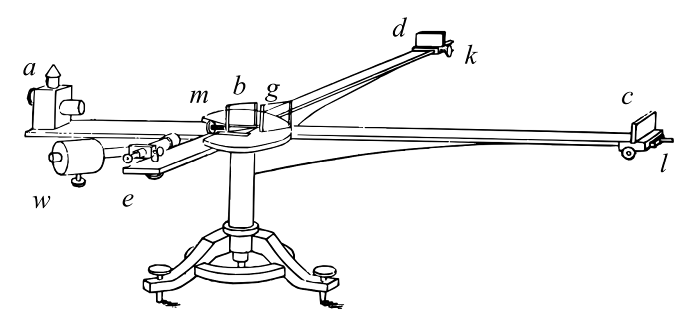


Рис. 2.3. Интерферометр: вид в перспективе

Источник света — маленький фонарь, снабженный линзой, с пламенем, находящимся в фокусе, помещен в *a*; *b* и *g* — это два плоских стекла, вырезанных из одной пластины; *d* и *c* — посеребренные стеклянные зеркала; *m* – микрометрический винт, который двигает пластину *b* в направлении *bc*. Телескоп *e* для наблюдения интерференционных полос снабжен микрометрическим окуляром, *w* — противовес.

В экспериментах плечи *bd* и *bc* были снабжены длинными бумажными покрытиями, не показанными на рисунке, для защиты от изменений температуры. Они поддерживались с внешних концов штырями *k*, *l*, а с другой стороны — круглой пластинкой *o*. Регулировка проводилась следующим образом.

Зеркала *c* и *d* насколько возможно продвигались к пластине *b* и с помощью винта *m* выравнивались в пределах двух диапазонов расстояния между точкой на поверхности в и двумя зеркалами. Зажигалась лампа, делалось небольшое отверстие в экране, размещенном перед ней, которое и служило источником света; пластина *b*, которую можно регулировать в двух плоскостях, двигалась во-

круг, пока два изображения точки света, которые отражались зеркалами, не совпадали. Затем фонарь с пламенем натрия размещался в *a*, и создавались интерференционные полосы. Полосы могли меняться по ширине, положению и направлению небольшим перемещением пластины *b*, и когда достигалась удобная ширина и максимальная четкость, натриевое пламя устранялось, и его опять заменяла лампа. Винт *m* затем медленно поворачивался до тех пор, пока вновь не появлялись полосы. Они были, разумеется, цветными, кроме центральной полосы, которая была почти черной. Телескоп для наблюдения должен быть сфокусирован на поверхности зеркала *d*, где полосы были наиболее четкими. Весь аппарат, включая лампу и телескоп, мог вращаться вокруг вертикальной оси.

Этот аппарат очень легко может служить в качестве интерферометра, он имеет два важных достоинства — малую стоимость и широкое разделение двух пучков света.

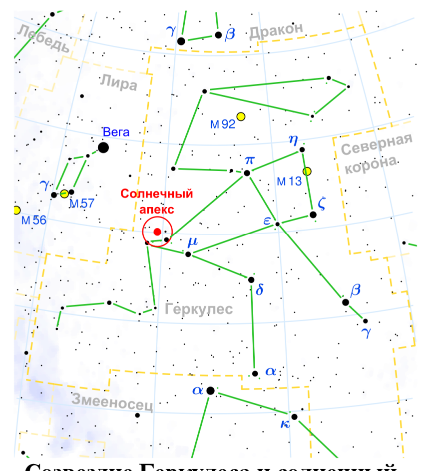
Аппарат, который был описан выше, был сконструирован Шмидтом и Хеншем из Берлина. Он был размещен на каменном основании в Физическом институте в Берлине. Первое же наблюдение показало, однако, что из-за исключительной чувствительности прибора к вибрациям работа не может выполняться в течение всего дня. Тогда эксперименты попробовали проводить ночью. Когда зеркала были установлены на середине плеч, полосы стали видимыми, но их положение не могло быть измерено до 12 часов ночи, а далее — только в некоторые интервалы времени. Когда же зеркала были сдвинуты к концам плеч, полосы были видны лишь эпизодически.

Таким образом, выяснилось, что эксперименты не могут быть выполнены в Берлине, и аппарат был перемещен в *Астрофизическую обсерваторию* в Потсдам. Но даже здесь обычные каменные опоры не удовлетворяли требованиям, и аппарат опять был перемещен, на этот раз в подвал, круглые стены которого служили основанием для опоры экваториала (стационарного телескопа — *В. А.*).

Здесь, в обычных условиях полосы были достаточно спокойными для измерения, но прибор был настолько чувствителен, что даже шаги на тротуаре в ста метрах от обсерватории были причиной полного исчезновения полос!

Если такое произошло с прибором, обладавшим небольшой чувствительностью, то что же мы можем ожидать от прибора, который должен иметь такую чувствительность, какую только возможно!

В это время года, в начале апреля, движение Земли по своей орбите приблизительно совпадает по долготе с вычисленным направлением движения Солнечной системы, а именно – с направлением к созвездию Геркулеса. Направление этого движения расположено примерно под углом +26° к плоскости экватора, и в это же время года касательная движения Земли по ее орбите составляет угол –23,5° с плоскостью экватора; таким образом, результирующая составит 25° к экватору.



Созвездие Геркулеса и солнечный апекс http://bit.ly/gdAJS2

Чем ближе две составляющие по величине друг к другу, тем в большей степени их результирующая совпадает с плоскостью экватора.

В этом случае, если аппарат расположен так, что в полдень плечи повернуты соответственно на север и восток, то плечо, указывающее на восток, совпадает с результирующим движением, а другое плечо окажется под прямым углом. Таким образом, если в это время аппарат будет повернут на угол в 90°, то смещение полос будет в 2 раза больше, чем 0,08, то есть 0,16 расстояния между полосами.

Если, с другой стороны, собственное движение Солнца мало по сравнению с движением Земли, то смещение составит 0,6 от 0,08, то есть 0,048. Беря среднее значение этих двух чисел как наиболее вероятное, мы можем считать, что смещение, которое мы ожидаем, составит примерно 0,1 расстояния между полосами.

Основная трудность, которая пугала нас при этих экспериментах, была связана с разницей температур двух плеч прибора. Они сделаны из латуни, коэффициент расширения которой составляет 0,000019, и имеют длину 1000 мм или 1 700 000 длин волны; если

одно плечо будет иметь температуру на 0,01° больше, чем другое, то полосы будут испытывать смещение в 3 раза большее, чем было бы получено при вращении прибора. С другой стороны, изменения температуры не зависят от направления плеч, и, если эти изменения не слишком велики, их влиянием можно пренебречь.

Однако оказалось, что смещение полос за счет изгиба плеч во время вращения было столь значительным, что прибор пришлось вернуть изготовителю с инструкцией сделать его вращение как можно более легким. Из таблиц будет видно, что, несмотря на эту меру предосторожности, было обнаружено значительное смещение в одном направлении. То, что это происходило исключительно благодаря опорам, было доказано путем поворота последних на 90°, когда направление, в котором появилось смещение, тоже менялось на 90°.

Вследствие чувствительности прибора к вибрациям микрометрический винт наблюдательного телескопа не мог быть использован, и линейная шкала на стекле была заменена. Расстояние между полосами покрывало три деления шкалы, а положение центра темной полосы составляло до четвертой доли деления, так что отдельные измерения были точны в пределах 1/12 полосы.

Часто происходило так, что от незначительной причины (среди прочих причин — потрескивание жестяного фонаря при нагревании) полосы внезапно меняли свое положение, в этом случае серия наблюдений браковалась и начиналась новая серия.

При регулировке перед третьей серией наблюдений направление, в котором смещались полосы при движении стеклянной пластины b, было изменено на противоположное, так что смещение в третьей и четвертой сериях должно браться с противоположным знаком.

В конце каждой серии опора поворачивалась на 90°, и оси тщательно регулировались по вертикали с помощью опорных винтов и спиртового уровня.

В заголовках табличных колонок даны направления, в которых устанавливался телескоп. Колонка начальных смещений (относительно которых проводились отсчеты) обозначена знаком x, а в вычислениях два соседних значения усреднены. Числа в колонках — это положение центра темной полосы в двенадцатых долях от расстояния между полосами.

№ оборота	N	N–E	E	SE	S	S–W	W	N–W	Примечание
1	0.0	0.0	0.0	-8.0	-1.0	-1.0	-2.0	-3.0	Серия 1, опорный винт, обозначенный *в*, повернут на восток.
2	16.0	16.0	16.0	9.0	16.0	16.0	15.0	13.0	
3	17.0	17.0	17.0	10.0	17.0	16.0	16.0	17.0	
4	15.0	15.0	15.0	8.0	14.5	14.5	14.5	14.0	
5	13.5	13.5	13.5	5.0	12.0	13.0	13.0	13.0	
S.	61.5 58.5.	61.5 W.	61.5 56.5	*x*	58.5 N.E.	58.5 61.5	56.5 S.E.	54.0 60.0	
	120.0 118.0		118.0			120.0 114.0		114.0	
Превышение	+2.0					+6.0			
1	10.0	11.0	12.0	13.0	13.0	0.0	14.0	15.0	Серия 2, *в* повернут на юг.
2	16.0	16.0	16.0	17.0	17.0	2.0	17.0	17.0	
3	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	4.0	18.0	17.5	
4	17.5	17.5	17.0	17.0	17.0	4.0	17.0	17.0	
5	17.0	17.0	17.0	17.0	16.0	3.0	16.0	16.0	
S.	78.0 80.5.	79.0 W.	79.5 82.0	81.5	80.5 N.E.	x 79.0	82.0 S.E.	82.5 81.5	
	158.5 161.5		161.5			160.0 164.0		164.0	
Превышение	-3.0					-4.0			
1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.5	10.0	Серия 3, *в* повернут на запад.
2	18.0	17.5	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	26.0	
3	11.0	11.0	13.0	12.0	13.0	13.5	13.5	21.0	
4	1.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	14.0	
5	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	16.0	
S.	37.0 39.5.	35.5 W.	39.0 41.0	38.5	39.5 N.E.	40.5 35.5	71.0 S.E.	x 38.5	
	76.5		80.0 76.5			76.0		79.5 76.0	
Превышение			+3.5					+3.5	
1	14.0	21.0	15.5	17.0	14.0	14.5	14.5	16.0	Серия 4, *в* повернут на север.
2	10.0	20.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	13.5	
3	14.0	25.0	15.0	16.0	16.0	16.0	16.0	17.0	
4	18.0	27.0	18.5	18.5	18.5	19.0	20.0	21.0	
5	15.0	24.0	15.0	15.0	15.0	16.0	16.0	16.5	
S.	71.0 76.5	x W.	76.0 79.5	78.5	76.5 N.E.	78.5 73.5	79.5 S.E.	84.0 78.5	
	147.5		155.5 147.5			152.0		162.5 152.0	
Превышение			+8.0					+10.5	

В первых двух сериях, когда суммы в колонках N и S превышают суммы колонок E и W, превышение считается положительным. Если суммы колонок N–E и S–W превышают суммы колонок N–W и S–E, то это превышение тоже считается положительным.

Числа, отмеченные как «превышение» (эксцесс) являются суммами десяти наблюдений. Деля их на 10, чтобы получить средние значения, а затем на 12 (поскольку числа соответствуют двенадцатым долям расстояния между полосами), получим

Серия	N–S	N–E, S–W
1	+0,017	+0,050
2	-0,025	-0,033
3	+0,030	+0,030
4	+0,067	+0,087
	0,089/4	0,137/4
Среднее	+0,022	+0,034

Таким образом, смещение составит:

- Для колонки N–S +0,022
- Для колонки N–E, S–W +0,034

Первое число слишком мало, чтобы его можно было рассматривать как характерное для смещения, вызванного простым изменением направления, а последнее должно быть равно нулю.

Эти числа — просто погрешности эксперимента. В самом деле, это должно быть видно из итоговых цифр колонок, поскольку числа возрастают (или уменьшаются) с большей или меньшей регулярностью слева направо.

Это постепенное изменение ни в коем случае не должно влиять на периодическое изменение, которое мы ищем и которое само будет исключать эту погрешность просто потому, что сумма цифр двух колонок, находящихся слева, должна быть меньше (или больше) суммы цифр колонок справа.

Это достаточно подтверждается тем, что там, где превышение положительно (отрицательно) для колонок N, S, оно также положительно (отрицательно) и для N–E, S–W. Если, следовательно, мы сможем исключить это постепенное изменение, то можно ожидать значительное уменьшение погрешности. Это достигается следующим образом.

Складывая вместе все суммы четырех серий, причем третьей и четвертой – со знаком «–», получим:

N	N–E	E	S–E	S	S–W	W	N–W
31,5	31,5	26,0	24,5	23,0	20,8	18,0	11,0

разделив на 20×12 для определения средних значений в масштабе расстояний между полосами, получим:

N	N–E	E	S–E	S	S–W	W	N–W
0,131	0,131	0,108	0,102	0,096	0,086	0,075	0,046

Если x — это номер колонки, отсчитанный справа, а y — соответствующая сумма, то метод наименьших квадратов даст уравнение прямой линии, проходящей наиболее близко к точкам x, y:

$$y = 9{,}25x + 64{,}5$$

Если теперь мы построим кривую с ординатами, равными разности значений y, найденных из уравнения, и действительного значения y, то она и будет представлять наблюдаемое смещение без погрешностей, о которых идет речь. Эти ординаты следующие:

N	N–E	E	S–E	S	S–W	W	N–W
-0,002	-0,011	-0,003	-0,001	-0,004	-0,003	-0,001	+0,018

N	-0,002	**E**	+0,003	**N–E**	-0,011	**N–W**	+0,018
S	-0,004	**W**	-0,001	**S–W**	-0,003	**S–E**	-0,001
Среднее	-0,003 +0,001		+0,001		-0,007 +0,008		+0,008
Првышение	-0,004				-0,015		

Небольшие смещения –0,004 и –0,015 — это просто погрешности эксперимента.

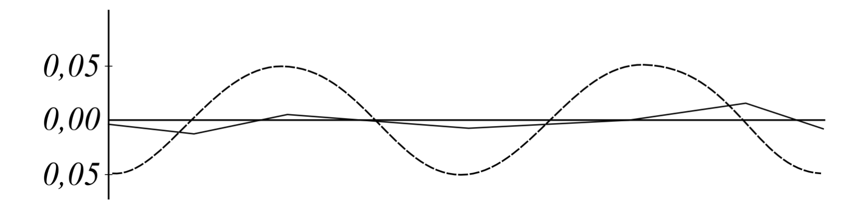


Рис. 2.4. Кривая, полученная Майкельсоном в результате обработки отсчетов интерферометра (сплошная линия) и теоретическая кривая (пунктирная линия). По оси абсцисс — угол поворота интерферометра, двум периодам теоретической кривой соответствует один оборот; по оси ординат — смещение интерференционных полос в долях расстояния между осями соседних полос

Полученные результаты, однако, более четко показаны при построении реальной кривой вместе с кривой, которая должна быть построена, если теория верна. Это показано на рис. 2.4.

Пунктирная кривая изображена, исходя из предположения, что ожидаемое смещение составляет 1/10 расстояния между интерференционными полосами, но если это смещение составит лишь 1/100, то ломаная линия будет еще ближе к прямой линии.

Эти результаты можно интерпретировать как отсутствие смещения интерференционных полос. Результат гипотезы стационарного эфира, таким образом, оказывается неверным, откуда следует вывод, что эта гипотеза ошибочна.

Этот вывод прямо противоречит объяснению явления аберрации, которое везде используется и которое предполагает, что Земля движется сквозь эфир, а последний остается в покое.

Будет не лишним привести отрывок из статьи, опубликованной Стоксом в 1846 году в журнале «Philosophical Magazine»:

«Все эти результаты непосредственно следуют из теории аберрации, которую я предложил в июльском номере этого журнала; при сравнении с экспериментом я не смог получить какого либо результата, который отличался бы от того, который мы получаем из принятой теории. Это любопытный случай, когда две совершенно различные теории идут параллельно друг другу при объяснении явления. Я не думаю, что многие будут склонны поддерживать теорию Френеля, когда станет очевидным, что без нее можно обойтись, так как мы не будем склонны поверить без явного подтверждения, что эфир движется свободно через твердую массу Земли. Было бы неплохо, если бы появилась возможность проверить обе теории с помощью убедительного эксперимента».

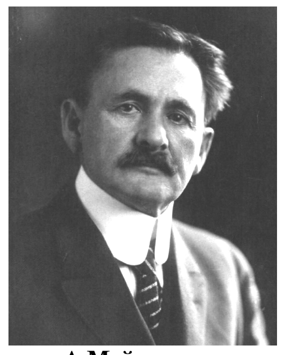
В заключение я пользуюсь случаем поблагодарить господина А. Г. Белла, обеспечившего средствами проведение этой работы, и профессора Фогеля, директора Астрофизической обсерватории, за его любезность в предоставлении ресурсов его лаборатории в мое распоряжение.

The American Journal of Science. 1881. III series. Vol XXII, No. 128. P. 120—129. **http://bit.ly/eHdkTh**

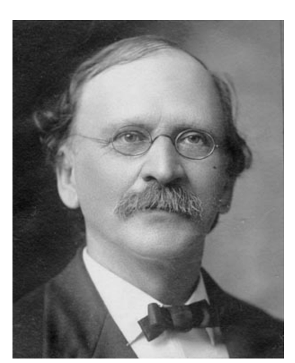
3. А.Майкельсон, Э.Морли. Об относительном движении Земли и светоносного эфира (1887)

Альберт А.Майкельсон, Эдвард В.Морли

***On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether*; by Albert A.Michelson, Edward W.Morley [15]**



А.Майкельсон (1852–1931)



Э.Морли (1839–1923)

За открытием аберрации света вскоре последовало ее объяснение с помощью эмиссионной теории. Эффект приписывался простому сложению скорости света и скорости Земли на ее орбите. Трудности в этом вполне удовлетворительном объяснении игнорировались до тех пор, пока не было предложено объяснение на основе волновой теории света. Это новое объяснение было почти таким же простым, как и предыдущее. Но оно не смогло объяснить того доказанного экспериментом факта, что аберрация оставалась неизменной, когда наблюдения проводились с помощью телескопа, наполненного водой. Если тангенс угла аберрации представляет собой отношение скорости Земли к скорости света, то, поскольку последняя скорость в воде составляет 3/4 скорости

[15] Это исследование было выполнено с помощью фонда Бача (Bache fund of the National Academy of Sciences – *прим. ред.*).

наполненного водой телескопа, должно составить 4/3 своего света в вакууме, и отклонение света, наблюдаемое с помощью истинного значения [16].

По волновой теории, согласно Френелю, эфир, во-первых, должен находиться в покое (относительно мирового пространства — *В. А.*), кроме как внутри прозрачной среды, а, во-вторых, он должен двигаться в ней со скоростью, меньшей, чем скорость среды, в отношении $\frac{n^2-1}{n^2}$, где n — коэффициент преломления среды. Эти две гипотезы дают полное и удовлетворительное объяснение явления аберрации. Вторая гипотеза, несмотря на свою кажущуюся неправдоподобность, должна рассматриваться как полностью доказанная, во-первых, известным экспериментом Физо [17] и, во-вторых, нашим собственным подробным исследованием [18]. Экспериментальные исследования первой гипотезы и составляют существо настоящей работы.

Если бы Земля была прозрачным телом, можно было бы допустить на основании результатов только что упомянутых экспериментов, что межмолекулярный эфир находится в покое в пространстве, несмотря на движение Земли по своей орбите, но мы не имеем права распространять этот вывод экспериментов на непрозрачные тела.

Но едва ли можно сомневаться в том, что металл может и должен пропускать эфир.*

---

[16] Можно отметить, что большинство авторов считает объяснение эмиссионной теории света вполне достаточным; в действительности же трудностей в этом объяснении даже больше, чем в волновой теории. По эмиссионной теории скорость света должна быть больше в водном телескопе и, таким образом, угол отклонения должен быть меньше; а для того, чтобы сократить его до истинного значения, мы должны выдвинуть абсурдную гипотезу о том, что движение воды в телескопе отклоняет луч света в противоположном направлении!

[17] *Comptes Rendus*. 1851. Vol. xxxiii. P. 349; Pogg. Ann. Ergänzungsband. 1853. Vol. III. P. 457; *Ann Chim. Phys.* 1859. Vol. III. Ivii. P. 385.

[18] Influence of Motion of the Medium on the Velocity of Light. Am. J. Sci.. 1886. Vol.III, xxxi. P. 377.

* Это мнение о том, что эфирные потоки свободно пропускаются металлом, сыграли роковую роль в истории исследований эфирного ветра: ин-

Лоренц ссылается на пример с металлической трубкой барометра. Когда трубка наклоняется, эфир над ртутью, конечно, выталкивается наружу, поскольку он несжимаем [19]. Но опять у нас нет никакого права полагать, что он выходит совершенно свободно, а если существует какое-либо сопротивление, даже малейшее, то мы все равно не можем допустить, что непрозрачное тело, такое, как Земля, может свободно пропускать эфир через всю свою массу.

Однако, как уместно замечает Лоренц:

«Не надо позволять увлечь себя в подобном вопросе суждением о степени вероятности или о простоте той или иной гипотезы, а надо обратиться к опыту, чтобы научиться распознавать состояние покоя или движения, в котором находится эфир на поверхности Земли» [20].

Теорию метода можно кратко сформулировать следующим образом. Допустим *sa*, рис. 3.1, — это луч света, который частично отражается в *ab*, а частично переносится в *ac*, возвращаясь при помощи зеркал *b* и *c* вдоль линий *ba* и *ca*. *ba* частично переносится вдоль *ad,* а *ca* и частично отражается вдоль *ad.* Если затем отрезки *ab* и *ac* сделать равными, то два луча будут интерферировать вдоль

терферометр, построенный Р.Кеннеди в 1926 г. (им воспользовался также Иллингворт в 1927 г.) и интерферометр, построенный Пиккаром и Стаэлем в 1927 г., были заключены в герметичные металлические ящики. Интерферометр Г.Джуса, построенный в 1930 г., был заключен в вакуумированное металлическое строение. Опыт Майкельсона 1931 г. по определению скорости света в частичном вакууме был основан на том, что свет пропускался в длинных металлических трубах, из которых был частично откачан воздух. Как теперь стало понятно, металл отражает эфирные струи подобно тому, как металлическое зеркало отражает свет. Внутри подобных закрытых металлических экранов никакого движения эфира, проникающего извне, быть не может независимо от того, обдувает эфирный ветер Землю или нет. Все эти эксперименты методически были поставлены неверно, и их результаты не могут приниматься во внимание при выявлении факта наличия или отсутствия эфирного ветра. И приходится сожалеть о той роли, которую сыграли перечисленные эксперименты в отрицании существования эфирного ветра и, как следствие, самого эфира. *(Прим. сост.).*

[19] Можно возразить, что он может протекать в пространстве между ртутью и стенками, но этого можно избежать амальгамированием стенок.

[20] *Archives Neerlandaises*, xxi, 2^{me} livr.

ad. Предположим, что эфир находится в покое и что весь аппарат движется в направлении *sc* со скоростью Земли по орбите, тогда направления и расстояния, проходимые лучами, будут меняться таким образом: луч *sa* отражается вдоль *ab* (см. рис. 3.1, II); угол bab_1, равный отклонению α, возвращается вдоль ba_1 ($aba_1 = 2\alpha$) и идет в фокус телескопа, направление которого остается неизменным. Пропущенный луч проходит вдоль *ac*, возвращается вдоль ca_1 и отражается в a_1, делая ca_1e равным $90° - \alpha$ и, таким образом, вновь совпадая с первым лучом. Следует отметить, что лучи ba_1 и ca_1 не встречаются точно в точке a_1, хотя разница там второго порядка; это не влияет на справедливость вывода.

Теперь нам требуется найти разницу двух путей aba_1 и aca_1.

Пусть

V — скорость света;

v — скорость Земли на ее орбите;

D — расстояние *ab* или ac на рис. 3.1 (I);

T — время, за которое свет проходит от *a* до *c*;

T_1 — время, за которое свет возвращается из *c* в a_1 на рис. 3.1 (II).

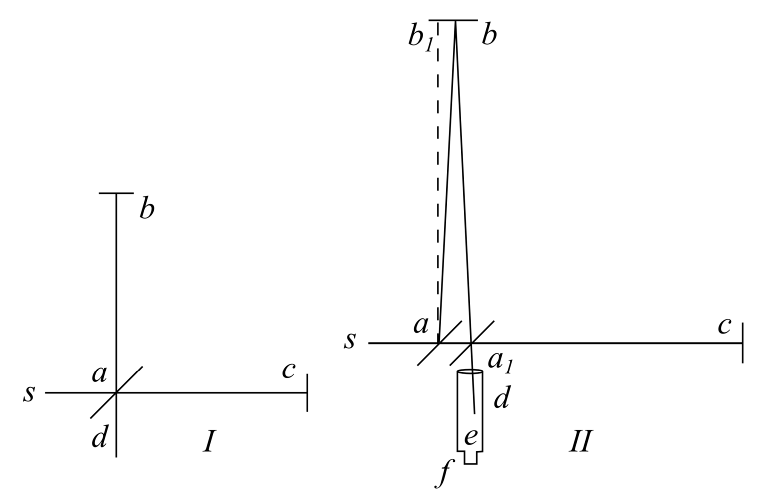


Рис. 3.1. Схема интерферометра (I) и принцип его работы (II)*

* Рисунок разделен на две части, как в европейском издании статьи. Два луча света описывают траектории sabd и scad на схеме, а запаздывание одного из лучей происходит по принципу «лодки и течения», который

Тогда $T = \dfrac{D}{V - v}$, $T_1 = \dfrac{D}{V + v}$. Полное время прохождения и возвращения света составит* $T + T_1 = 2D\dfrac{V}{V^2 - v^2}$, а расстояние, пройденное за это время, будет равно $2D\dfrac{V^2}{V^2 - v^2} = 2D\left(1 + \dfrac{v^2}{V^2}\right)$, если пренебречь членами четвертого порядка. Длина другого отрезка составит**, очевидно, величину $2D\sqrt{1 + \dfrac{v^2}{V^2}}$ или с той же степенью точности, $2D\left(1 + \dfrac{v^2}{2V^2}\right)$. Таким образом, разность составит $D\dfrac{v^2}{V^2}$. Если теперь весь аппарат повернуть на 90°, разность поменяет знак на противоположный, и смещение интерференционных полос составит $2D\dfrac{v^2}{V^2}$. Если рассматривать только скорость движения Земли по орбите, то эта величина должна быть равной $2D \times 10^{-8}$. Если, как это было в первом эксперименте, $D = 2 \times 10^6$ волн желтого света, то смещение должно составить 0,04 расстояния между интерференционными полосами.

был популярно изложен, в частности, А. Майкельсоном в его книге «Световые волны и их применение» в 1903 году (см. примечание к предыдущей главе этого сборника). *Прим. ред.*

* Для преобразований используется приведение к общему знаменателю и формула сокращенного умножения $a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$, а для упрощения функций — ряды Тейлора $\dfrac{1}{1 - x} = 1 + x + x^2 + x^3 + \cdots$ и $\sqrt{1 + x} = 1 + \dfrac{x}{2} - \dfrac{x^2}{8} + \dfrac{x^3}{16} + \ldots$ *Прим. ред.*

** Используется правило треугольника (теорема Пифагора). Популярное изложение см., например, в книге биографа А.Майкельсона Бернарда Джеффа «Майкельсон и скорость света». М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. http://n-t.ru/ri/dj/mc05.htm *Прим. ред.*

В первом эксперименте одна из основных встретившихся трудностей заключалась в необходимости приведения аппарата во вращение без внесения искажений, вторая — в его исключительной чувствительности к вибрациям. Последняя была настолько велика, что во время работы в городе было невозможно увидеть интерференционные полосы, за исключением коротких промежутков времени, даже в 2 часа ночи. В результате, как отмечалось ранее, величина, которая должна была быть измерена, а именно, смещение интерференционных полос на расстояние, несколько меньшее, чем 1/20 расстояния между ними, могла быть слишком мала, чтобы ее определить, будучи замаскированной погрешностями эксперимента.

THE

AMERICAN JOURNAL OF SCIENCE.

[THIRD SERIES.]

ART. XXXVI.—*On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether;* by ALBERT A. MICHELSON and EDWARD W. MORLEY.*

THE discovery of the aberration of light was soon followed by an explanation according to the emission theory. The effect was attributed to a simple composition of the velocity of light with the velocity of the earth in its orbit. The difficulties in this apparently sufficient explanation were overlooked until after an explanation on the undulatory theory of light was proposed. This new explanation was at first almost as simple as the former. But it failed to account for the fact proved by experiment that the aberration was unchanged when observations were made with a telescope filled with water. For if the tangent of the angle of aberration is the ratio of the velocity of the earth to the velocity of light, then, since the latter velocity in water is three-fourths its velocity in a vacuum, the aberration observed with a water telescope should be four-thirds of its true value.†

* This research was carried out with the aid of the Bache Fund.

† It may be noticed that most writers admit the sufficiency of the explanation according to the emission theory of light; while in fact the difficulty is even greater than according to the undulatory theory. For on the emission theory the velocity of light must be greater in the water telescope, and therefore the angle of aberration should be less; hence, in order to reduce it to its true value, we must make the absurd hypothesis that the motion of the water in the telescope carries the ray of light in the opposite direction!

AM. JOUR. SCI.—THIRD SERIES, VOL. XXXIV, No. 203.—NOV., 1887.
22

THE

LONDON, EDINBURGH, AND DUBLIN

PHILOSOPHICAL MAGAZINE

AND

JOURNAL OF SCIENCE.

[FIFTH SERIES.]

DECEMBER 1887.

LVIII. *On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Æther. By* ALBERT A. MICHELSON *and* EDWARD W. MORLEY*.

THE discovery of the aberration of light was soon followed by an explanation according to the emission theory. The effect was attributed to a simple composition of the velocity of light with the velocity of the earth in its orbit. The difficulties in this apparently sufficient explanation were overlooked until after an explanation on the undulatory theory of light was proposed. This new explanation was at first almost as simple as the former. But it failed to account for the fact proved by experiment that the aberration was unchanged when observations were made with a telescope filled with water. For if the tangent of the angle of aberration is the ratio of the velocity of the earth to the velocity of light, then, since the latter velocity in water is three-fourths its velocity in a vacuum, the aberration observed with a water telescope should be four-thirds of its true value†.

On the undulatory theory, according to Fresnel, first, the

* Communicated by the Authors.
This research was carried out with the aid of the Bache Fund.

† It may be noticed that most writers admit the sufficiency of the explanation according to the emission theory of light; while in fact the difficulty is even greater than according to the undulatory theory. For on the emission theory the velocity of light must be greater in the water telescope, and therefore the angle of aberration should be less; hence, in order to reduce it to its true value, we must make the absurd hypothesis that the motion of the water in the telescope carries the ray of light in the opposite direction!

Phil. Mag. S. 5. Vol. 24. No. 151. *Dec.* 1887. 2 H

Начало статьи А.Майкельсона и Э.Морли в американском ** **и европейском Journal of Science за 1878 г.** *

** *American Journal of Science*, 1887, **34** (203): 333–345 http://bit.ly/f2JyYR

* Phil. Mag. S. 5. Vol. 24. No. 151. Dec. 1887. http://bit.ly/ggI7p9

Первая из названных трудностей была полностью преодолена за счет расположения аппарата на массивном камне, плавающем в ртути, а вторая – за счет увеличения светового пути посредством повторных отражений примерно в 10 раз по сравнению с его прежним значением.

Аппарат представлен в перспективе на рис. 3.2, в плане — на рис. 3.3, а в вертикальном сечении — на рис. 3.4.

Камень *a* (см. рис. 3.4) имеет квадратную поверхность со стороной примерно в 1,5 м и толщину 0,3 м. Он расположен на кольцеобразном деревянном плоту *bb*, имеющем внешний диаметр в 1,5 м, внутренний диаметр 0,7 м и толщину 0,25 м. Плот покоится на ртути, залитой в чугунный желоб *cc* толщиной 1,5 см и таких размеров, чтобы вокруг плота оставалось расстояние около 1 см. Штырь *d*, удерживаемый креплениями *gggg,* вставлен в гнездо *e,* расположенное на плоту. Штырь может быть вставлен в отверстие, а может быть вынут с помощью рычага, вращающегося в точке *f.* Этот штырь удерживает весь плот соосно с желобом, но не несет на себе никакой части веса камня. Кольцеобразный чугунный желоб покоится на цементном основании и на низком кирпичном фундаменте, имеющем форму полого восьмиугольника.

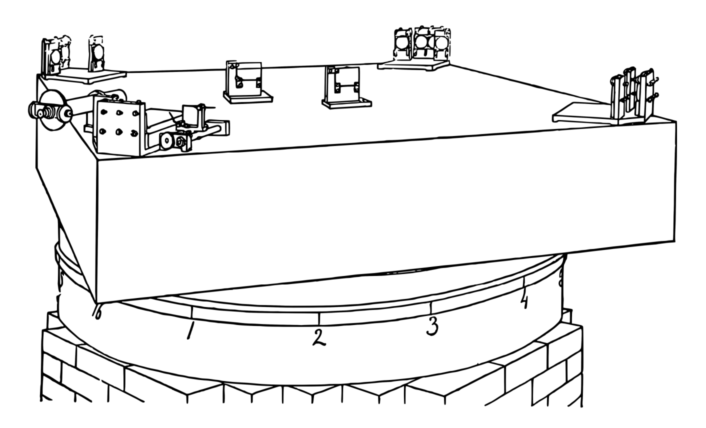


Рис. 3.2. Интерферометр Майкельсона, расположенный на каменной плите: вид в перспективе. В нижней части прибора по окружности на равном расстоянии были нанесены метки от 1 до 16 для указания его азимута.

В каждом углу камня были расположены четыре зеркала *dd, ee* (см. рис. 3.3). Около центра камня было размещено плоскопараллельное стекло* *b*. Все это было расположено таким образом, что свет от горелки Аргана *a*, проходя через линзу, падал на *b* таким образом, чтобы быть частично отраженным к d_1; два пучка следовали по траекториям, указанным на рисунке, соответственно *bdedbf* и $bd_1e_1d_1bf$, и наблюдались через телескоп *f*. Как *f*, так и *a*, вращались вместе с камнем. Зеркала были изготовлены из зеркальной бронзы и были тщательно отполированы для получения оптически плоских поверхностей, они имели 5 см в диаметре, а стекла *b* и *c* были плоскопараллельными и имели одинаковую толщину 1,25 см; их поверхности имели размеры 5x7,5 см. Второе из них было размещено на пути одного из пучков света для компенсации прохождения второго луча через ту же толщину стекла. Вся оптическая часть аппарата была закрыта деревянным кожухом с тем, чтобы предотвратить влияние потоков воздуха и быстрой смены температуры.

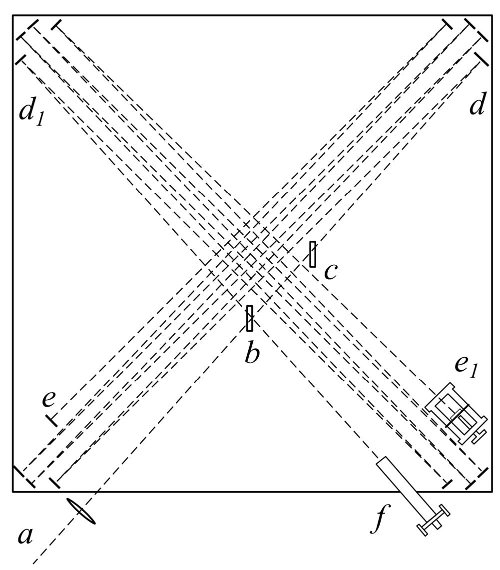


Рис. 3.3. Ход лучей в интерферометре

Регулировка осуществлялась следующим образом: зеркала регулировались с помощью винтов в кронштейнах, которые держали зеркала и к которым зеркала прижимались пружинами, регулировка проводилась до тех пор, пока свет от обоих лучей не становился виден в телескоп; длины двух путей измерялись легкой деревянной линейкой по диагонали от зеркала к зеркалу, расстояние считывалось с маленькой стальной шкалы с точностью до десятой доли миллиметра.

* Полупрозрачное зеркало — *Прим. ред,*

Разница длин двух оптических путей затем ликвидировалась перемещением зеркала e_1.Это зеркало имело три вида регулировки; оно регулировалось по высоте и по азимуту так же, как и другие зеркала, но более точно, оно также имело регулировку вдоль направления падающего луча, смещаясь вперед или назад, но оставаясь точно параллельно своей бывшей плоскости. Все три вида регулировки этого зеркала могли быть выполнены при установленном деревянном кожухе.

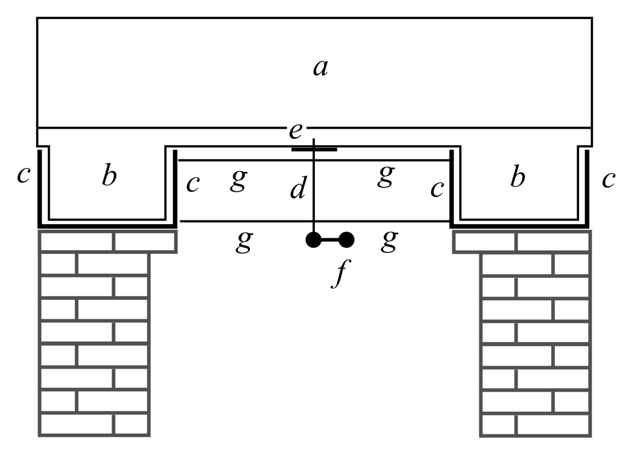


Рис. 3.4. Схема основная интерферометра в разрезе

Камень *a* (см. рис. 3.4) имеет квадратную поверхность со стороной примерно в 1,5 м и толщину 0,3 м. Он расположен на кольцеобразном деревянном плоту *bb*, имеющем внешний диаметр в 1,5 м, внутренний диаметр 0,7 м и толщину 0,25 м. Плот покоится на ртути, залитой в чугунный желоб *cc* толщиной 1,5 см и таких размеров, чтобы вокруг плота оставалось расстояние около 1 см. Штырь *d*, удерживаемый креплениями *gggg,* вставлен в гнездо *e,* расположенное на плоту. Штырь может быть вставлен в отверстие, а может быть вынут с помощью рычага, вращающегося в точке *f*. Этот штырь удерживает весь плот соосно с желобом, но не несет на себе никакой части веса камня. Кольцеобразный чугунный желоб покоится на цементном основании и на низком кирпичном фундаменте, имеющем форму полого восьмиугольника.

Оптические пути теперь были примерно равны, два изображения источника света или некоторого хорошо заметного предмета, помещенного перед конденсирующей линзой, совмещались, а телескоп был далее отрегулирован для ясного видения интерференционных полос, и при их появлении белый свет заменялся на свет натрия. * Регулировкой с помощью зеркала e_1 они делались настолько четкими, насколько это было возможно; затем возвращался белый свет; винт, регулирующий длину оптического пути, приводился во вращение очень медленно (один поворот винта при одной сотне витков на дюйм изменял траекторию примерно на 1000 длин волн) до тех пор, пока цветные интерференционные полосы не появлялись вновь в белом свете. Это позволило получить удобные ширину и положение полос, и аппарат стал готов к наблюдениям.

Наблюдения были проведены следующим образом: по окружности чугунного лотка были нанесены 16 отметок на равном расстоянии друг от друга. Аппарат очень медленно вращался (один оборот за 6 минут) и после нескольких минут проволочное перекрестие микрометра было установлено на самой четкой из интерференционных полос в момент прохождения одной из отметок. Движение было настолько медленным, что это можно было сделать без труда и точно. Отмечалось положение головки микрометрического винта, затем производился очень легкий и плавный толчок для поддержания движения камня; при прохождении второй отметки повторялся тот же процесс, и это продолжалось до тех пор, пока аппарат не совершал шесть полных оборотов. Было обнаружено, что при поддержании медленного и равномерного движения аппарата результаты получались гораздо более однородными и последовательными, чем когда камень останавливался для каждого наблюдения, в силу того, что эффекты деформаций могли наблюдаться еще в течение по крайней мере полминуты после того, как камень будет остановлен, и за это время начинало оказывать влияние изменение температуры.

Ниже в таблице приведены средние значения шести отсчетов: для наблюдений, сделанных около полудня (первые), около шести

---

* Бернард Джефф в книге «Майкельсон и скорость света». (М.: Изд-во иностранной литературы, 1963). http://n-t.ru/ri/dj/mc05.htm утверждает, что монохроматический желтый свет паров натрия был получен размещением в пламени горелки поваренной соли (NaCl). — *Прим. ред.*

часов вечера (вторые). Отсчеты — это деления шкал на головках винтов. Ширина полос варьировалась от 40 до 60 делений, среднее значение составляло около 50 делений, так что одно деление соответствовало 0,02 длины волны. Вращение в полуденных наблюдениях производилось против часовой стрелки, а в вечерних — по движению часовой стрелки.

Результаты наблюдений представлены графически на рис. 3.5. Верхняя кривая — это дневные наблюдения, нижняя — вечерние наблюдения. Пунктирные кривые представляют собой 1/8 теоретического смещения. Кажется вполне справедливым заключить из рисунка, что если есть какое-либо смещение из-за относительного движения Земли и светоносного эфира, то оно не может быть больше, чем 0,01 расстояния между полосами.

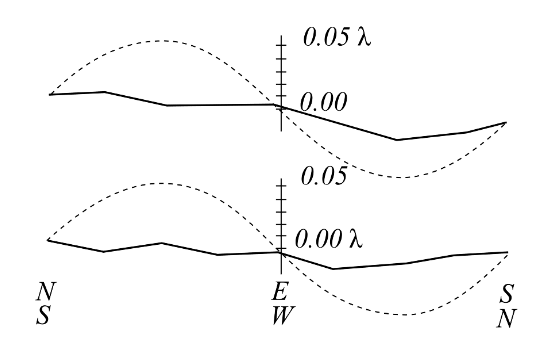


Рис. 3.5. Результаты наблюдений эфирного ветра. По оси абсцисс — угол поворота интерферометра, по оси ординат — значения отклонений интерференционных полос в длинах волн света. Штрихами показана теоретическая кривая: расчет сделан из предположения, что эфирный ветер имеет направление, противоположное движению Земли в плоскости эклиптики

Если рассматривать только орбитальное движение Земли, то это смещение должно составить:

$$2D\frac{v^2}{V^2} = 2D\times 10^{-8}.$$

Расстояние D составило около 11 м или $2\cdot 10^7$ длин волн желтого света, таким образом, ожидалось смещение 0,4 полосы. Действительное же смещение было, конечно, меньше, чем 1/20, а возможно, что и меньше, чем 1/40 часть. Но поскольку смещение пропорционально квадрату скорости, то относительная скорость Земли и эфира, возможно, меньше, чем 1/6 орбитальной скорости Земли, и уж конечно меньше, чем 1/4.

Дневные наблюдения																	
	16.*	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Июль 8	44,7	44,0	43,5	39,7	35,2	34,7	34,3	32,5	28,2	26,2	23,8	23,2	20,3	18,7	17,5	16,8	13,7
Июль 9	57,4	57,3	58,2	59,2	58,7	60,2	60,8	62,0	61,5	63,3	65,8	67,3	69,7	70,7	73,0	70,2	72,2
Июль 11	27,3	23,5	22,0	19,3	19,2	19,3	18,7	18,8	16,2	14,3	13,3	12,8	13,3	12,3	10,2	7,3	6,5
Среднее	43,1	41,6	41,2	39,4	37,7	38,1	37,9	37,8	35,3	34,6	34,3	34,4	34,4	33,9	33,6	31,4	30,8
Среднее в длинах волн	0,862	0,832	0,824	0,788	0,754	0,762	0,758	0,756	0,706	0,692	0,686	0,688	0,688	0,678	0,672	0,628	0,616
	0,706	0,692	0,686	0,688	0,688	0,678	0,672	0,628	0,616								
Окончательное среднее	0,784	0,762	0,755	0,738	0,721	0,720	0,715	0,692	0,661								
Послеполуденные наблюдения																	
Июль 8	61,2	63,3	63,3	68,2	67,7	69,3	70,3	69,8	69,0	71,3	71,3	70,5	71,2	71,2	70,5	72,5	75,7
Июль 9	26,0	26,0	28,2	29,2	31,5	32,0	31,3	31,7	33,0	35,8	36,5	37,3	38,8	41,0	42,7	43,7	44,0
Июль 12	66,8	66,5	66,0	64,3	62,2	61,0	61,3	59,7	58,2	55,7	53,7	54,7	55,0	58,2	58,5	57,0	56,0
Среднее	51,3	51,9	52,5	53,9	53,8	54,1	54,3	53,7	53,4	54,3	53,8	54,2	55,0	56,8	57,2	57,7	58,6
Среднее в длинах волн	1,026	1,038	1,050	1,078	1,076	1,082	1,086	1,074	1,068	1,086	1,076	1,084	1,100	1,136	1,144	1,154	1,172
	1,068	1,086	1,076	1,084	1,100	1,136	1,144	1,154	1,172								
Окончательное среднее	1,047	1,062	1,063	1,081	1,088	1,109	1,115	1,114	1,120								

* Цифры в строке соответствуют азимуту интерферометра.

Для того, что было сказано, имеет значение только орбитальное движение Земли. Если же оно объединено с движением Солнечной системы, относительно которого имеется мало определенных данных, то результат должен быть изменен; вполне возможно, что результирующая скорость во время наблюдений была малой, хотя шансов на это мало. Поэтому эксперимент должен повторяться через интервалы в три месяца, таким образом, вся неопределенность будет устранена.

Из всего изложенного следует, что если и существует относительное движение Земли и эфира, то оно должно быть малым, настолько малым, чтобы полностью опровергнуть объяснение аберрации Френелем. Стокс предложил теорию аберрации, которая предполагает, что эфир на поверхности Земли покоится относительно последней, но только требуется, чтобы относительная скорость имела потенциал; однако Лоренц показал, что эти условия несовместимы. Лоренц далее предложил модификацию теории, которая объединяет некоторые идеи Стокса и Френеля и допускает существование потенциала вместе с коэффициентом Френеля. Если теперь, на основании данной работы, можно было бы вполне законно сделать вывод о том, что эфир находится в покое относительно поверхности Земли, а, согласно Лоренцу, может не существовать потенциала скоростей, то собственная теория Лоренца также может оказаться несостоятельной.

Дополнение

Из изложенного выше очевидно, что может быть безнадежно пытаться определить факт движения Солнечной системы путем наблюдений оптических явлений *на поверхности Земли*. Но не невозможно обнаружить относительное движение аппаратом, подобным использованному в описанных экспериментах, на средних высотах над уровнем моря, например, на вершине отдельно стоящей горы. Вероятно, если эксперимент будет когда-либо проводиться в подобных условиях, кожух аппарата должен быть выполнен из стекла или вообще отсутствовать.*

Целесообразно рассмотреть другой метод увеличения влияния квадрата отклонения, который был рассмотрен при подготовке настоящей статьи. Этот метод основан на том, что отражение света от

* !!! — *Прим. ред.*

поверхности во время движения отличается от обычных законов отражения.

Допустим *ab* (рис. 3.6 *A*) — это плоская волна, падающая на зеркало *mn* под углом в 45°. Если зеркало неподвижно, фронт волны после отражения займет положение *ac*.

Теперь предположим, что зеркало движется в направлении, которое составляет угол α со своей нормалью, со скоростью ω. Допустим, что V – это скорость света в эфире, который неподвижен, а *cd* – это увеличение расстояния, которое свет должен пройти, чтобы достичь *d*. За это время зеркало прошло расстояние $\frac{cd}{\sqrt{2}\cos\alpha}$. Мы имеем $\frac{cd}{ad} = \frac{\omega\sqrt{2}\cos\alpha}{V}$, обозначим это через *r*, тогда $\frac{ac}{ad} = 1 - r$.

Для того чтобы найти новый фронт волны, начертим дугу *fg* с центром в точке *b*, и радиусом *ad*; касательная к этой дуге из *d* будет фронтом новой волны, а перпендикуляр к касательной из *b* будет новым направлением. Это направление будет отличаться от направления *ba* на угол θ, который и требуется определить.

Из равенства треугольников *adb* и *edb* следует, что $\theta = 2\phi$, $ab = ac$,

$$\mathrm{tg}\,adb = \mathrm{tg}\left(45^o - \frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \mathrm{tg}\frac{\theta}{2}}{1 + \mathrm{tg}\frac{\theta}{2}} = \frac{ac}{ad} = 1 - r,$$

или, пренебрегая членами порядка r^3,

$$\theta = r + \frac{r^2}{2} = \frac{\sqrt{2}\,\omega\cos\alpha}{V} + \frac{\omega^2}{V^2}\cos^2\alpha .$$

Теперь пусть свет падает на параллельное зеркало, находящееся напротив первого, тогда мы должны получить $\theta_1 = \frac{-\sqrt{2}\omega\cos\alpha}{V} + \frac{\omega^2}{V^2}\cos^2\alpha$, и общее отклонение составит $\theta + \theta_1 = 2\rho^2\cos^2\alpha$ где ρ — угол аберрации, если рассматривать только орбитальное движение Земли. Максимальное смещение, полученное при вращении всего аппарата на 90°, составит

$\Delta = 2\rho^2 = 0{,}004''$. С пятьюдесятью таких пар смещение составит $0{,}2''$. Но астрономические наблюдения при условиях, гораздо менее благоприятных, чем те, в которых они могут проводиться, были сделаны с точностью до сотых долей секунды, так что этот метод оказывается по меньшей мере таким же чувствительным, как и предыдущий.

Компоновка аппарата должна быть такой, какая представлена на рис. 3.6*B*. *s* в фокусе линзы *a* — это щель, *bb cc* — это два стеклянных зеркала, оптически плоских и посеребренных, чтобы обеспечить пропускание всего лишь одной двадцатой части света и отражение, скажем, 90 %. Яркость света, падающего на телескоп наблюдения *df*, будет составлять около одной миллионной части исходной яркости, так что если будет использован солнечный свет или свет электрической дуги, он все равно будет хорошо виден. Зеркала bb_1 и cc_1 будут несколько непараллельны, чтобы разделить последовательные отражения. Наконец, аппарат не должен вращаться, поскольку вращения Земли будет достаточно.

Если бы было возможно измерить с достаточной точностью скорость света без возврата луча в его исходную точку, то проблема измерения первого порядка относительной скорости Земли и эфира была бы решена. Это может оказаться не столь безнадежно, как может показаться на первый взгляд, так как трудности являются сугубо механическими и они, возможно, со временем, будут преодолены.

Предположим, например (см. рис. 3.6 *C*), что *m* и m_1 — это два зеркала, вращающихся с одинаковой скоростью в противоположных направлениях. Очевидно, что свет от *s* будет формировать стационарное изображение в s_1 и аналогично, свет из s_1 будет формировать стационарное изображение в *s*. Если теперь значительно увеличить скорость вращения зеркал, их фазы по-прежнему будут такими же, оба изображения будут отклоняться из s и s_1 в обратной пропорции к скоростям света в двух направлениях; или если два отклонения сделаны равными и разница фаз зеркал будет одновременно замерена, очевидно, что она будет пропорциональна разнице скоростей в двух направлениях. Единственная реальная трудность здесь заключается в этих измерениях.

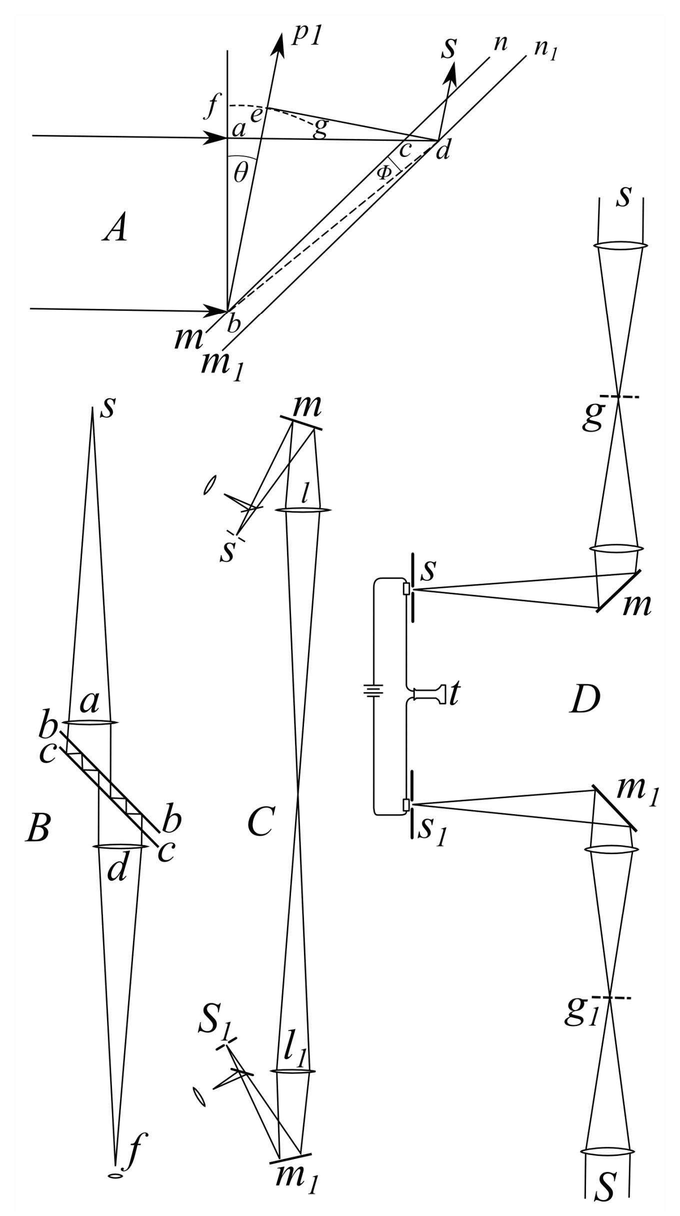


Рис. 3.6. Схема падения плоской волны света на зеркало (A), схема компоновки аппарата (B), схема действия прибора при вращении зеркал в противоположных направлениях (C) и схема прибора с двумя решетками (D)

Возможно следующее решение: gg_1 (см. рис. 3.6 *D*) — это две решетки, на которых концентрируется солнечный свет. Они расположены таким образом, чтобы после падения на вращающиеся зеркала m и m_1 свет формировал изображения решеток в s и s_1, на два очень чувствительных селеновых элемента с батареями и телефоном. Если все будет симметричным, звук в телефоне не будет максимальным. Если теперь одна из щелей s будет смещена на половину расстояния между изображениями полос решетки, наступит тишина. Предположим теперь, что оба отклонения будут сделаны совершенно одинаковым путем регулировки положения щели до наступления тишины. Если затем эксперимент повторить, повернув аппарат на 180°, и отклонения опять будут сделаны равными, то тишины больше не будет, и угловое расстояние, на которое s должна быть подвинута для восстановления тишины, даст разницу в фазе.

Остается еще три других метода для рассмотрения проблемы движения Солнечной системы в пространстве, все они астрономические:

1. Телескопическое наблюдение регулярных движений звезд. Это дало нам определение с высокой степенью точности направления этого движения, но лишь догадку относительно его величины.

2. Спектроскопическое наблюдение движения звезд в линии поля зрения. Это может дать сведения об относительных движениях, хотя вполне вероятно, что при существенных улучшениях фотографий звездных спектров полученная информация будет более точной, чем та, которая получена другими способами.

3. Наконец, остается определение скорости света путем наблюдения затмений спутников Юпитера. Если улучшенные фотометрические методы, практикуемые в Гарвардской обсерватории, обеспечивают наблюдения с большой точностью, разница в результатах, обнаруженная для скорости света тогда, когда Юпитер находится в ближайшей и отдаленной точках от линии движения, даст движение Солнечной системы не столько относительно звезд, сколько относительно самого светоносного эфира.

Примечание С. И. Вавилова к статье А.Майкельсона и Э.Морли (1928)

* Способ обработки таков, что всякие **непериодические смещения исключаются**. Между тем эти непериодические смещения были значительны. Ввиду тех возражений, которые сделаны в последнее время Миллером по поводу рода обработки, приводим таблицу для полученных наблюдений из работы Майкельсона–Морли (см. таблицу – *В.А*). Числа в первых трех строках указывают деления на головке винта окулярного микрометра. Приблизительно 50 таких делений соответствуют смещению на целую полосу. При повороте прибора на полную окружность, разделенную на 16 частей, полосы систематически смещаются почти на 0,5 полосы, как видно из таблицы. В четвертой строке взято арифметическое среднее всех отсчетов, в пятой строке эти цифры перечислены на ширину полос. Вторая половина пятой строки далее снова повторяется и подписана под первой половиной (в предположении, что периодические смещения правильно повторяются во второй половине окружности). В последней строке взято среднее из предыдущих двух строк. В этой строке вполне ясно систематическое смещение, достигающее 0,1 полосы за половину окружности.

Далее, через точки, соответствующие цифрам последней строки, проводилась наиболее вероятная прямая. Отклонения от этой прямой и считаются за наблюдаемые смещения — они нанесены в верхней части рис. 3.5. Систематический ход в открытом интерферометре за время одного оборота может вызываться различными причинами: изменениями атмосферного давления, температурными колебаниями и пр. Во всяком случае указанная обработка с таким интерферометром **неизбежна**. Воспользовавшись вместо окончательного среднего первым средним и проведя наиболее вероятную прямую через точки, мы получим такие цифры (см. нижеприведенную таблицу):

---

* Экспериментальные основания теории относительности, 1928 г. // С.И.Вавилов Собрание сочинений, том IV, М.: АН СССР, 1956, стр. 31-33. http://bit.ly/fYjnUh

Азимут	16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Смещения	+0,02	+0,005	+0,01	-0,01	-0,03	-0,005	0,000	+0,015	+0,02	-0,02	-0,015	0,000	+0,015	+0,020	+0,030	0,000	0,000

Максимальное смещение в этом случае составляет около 0,05 полосы, то есть почти в 10 раз меньше теоретического.

Комментарий составителя к примечанию С. И. Вавилова

На рис. 3.7 построен график смещений по таблице, рассчитанной С. И. Вавиловым. Как видно из графика, совершенно отчетливо просматривается вторая гармоника, соответствующая эфирному ветру.

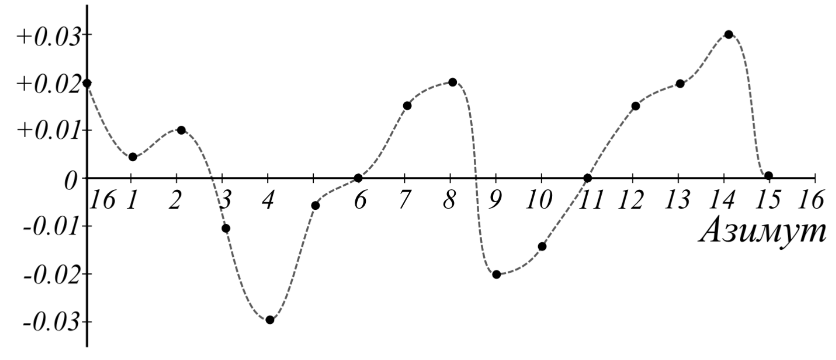


Рис. 3.7. График смещения полос, рассчитанный С. И. Вавиловым

Что касается того, что максимальное смещение интерференционных полос в 10 раз меньше теоретического, то, учитывая тот факт, что смещение полос пропорционально квадрату отношения относительной скорости эфира и Земли к скорости света, необходимо констатировать, что в рассматриваемом эксперименте Майкельсоном и Морли было доказано существование эфирного ветра, скорость которого составляла от 3 до 6 км/с, что не соответствовало «теоретическому» значению скорости в 30 км/с, но вовсе не являлось «нулевым» результатом.

4. Отрывок из письма профессоров Э.В.Морли и Д.К.Миллера Лорду Кельвину (1904)

(5 августа 1904 г., Огайо, Кливленд)

В 1887 г. Майкельсон и Морли провели эксперимент по относительному движению Земли и светоносного эфира. Они не смогли обнаружить никакого относительного движения, равного 1/6 скорости Земли по ее орбите.

Для объяснения этого результата Фицжеральд и Лоренц предположили, что каменная плита, на которой был смонтирован аппарат, должна иметь размеры, изменяющиеся под влиянием перемещения ее в эфире.

Вероятность того, что такой эффект будет обнаружен при повторении эксперимента 1887 г., но с другими материалами, очень мала. Если эффект Фицжеральда–Лоренца существует, то он может в той же степени влиять на все материалы независимо от их природы. Но также возможно, что эффект зависит от физических свойств материала, так что на сосну будет больше оказано влияния, чем на песчаник. Если в эксперименте песчаник не дает смещения, подобно тому, как это было в 1887 г., то аппарат на опоре из сосны, которая подвержена сжатию больше, чем песчаник, даст эффект, противоположный тому, который предполагается по простой исходной теории.

Такой эксперимент теперь был проведен. Сначала мы сделали конструкцию из сосны, которая плавала в ртути так же, как в 1887 г. Пока эта конструкция была новой, мы с ее помощью получали хорошие наблюдения. Но, когда дерево подверглось влиянию влажности в течение одного сезона, стало невозможным отрегулировать конструкцию более чем на пять минут. Поэтому мы сделали конструкцию, в которой расстояние между зеркалами зависело от длины сосновых стержней, но все другие детали были выполнены из стали. Две очень прочные стальные балки перекрещивались симметрично и плавали на ртути. Два держателя, каждый несущий по четыре зеркала, были закреплены на концах двух плеч этого креста. Два других держателя зеркал были подвешены свободно.

Сосновые стержни проходили от фиксированных держателей к свободно висящим держателям, контакт между ними обеспечивался при помощи жестких пружин.



Интерферометр с деревянными элементами. Case W. R. U. Archive. http://www.orgonelab.org/miller.htm

Эти сосновые стержни были помещены в латунные трубки, скрепленные между собой и представляющие собой своего рода ферму, расстояние между двумя группами зеркал зависело исключительно от длины этих сосновых стержней.

В процессе наблюдения отмечалось положение центральной черной полосы на микрометрическом лимбе окуляра. Отметки были сделаны на шестнадцати азимутах, равно отстоящих друг от друга, обычно со скоростью поворота, чуть меньшей, чем один оборот за минуту; отсчеты делались с точностью до десятых долей волны. Было выбрано два периода времени, в течение которых Земля двигалась в плоскости аппарата. В первой половине июля направление движения в эти два периода различались на 115°; утренние и вечерние серии наблюдений были объединены с учетом этого различия. В целом были выполнены наблюдения более чем за 250 оборотов.

В июле может быть принята скорость Земли 33,5 км/с. Длина оптического пути в нашем аппарате составляла 32,2 м, и ожидаемый эффект должен был составить 1,4 длины волны.

Мы установили, что если и существует смещение, то оно не может быть большим, чем 0,015 длины волны.

Philosophical Magazine. 1904. Vol. 8(6). P. 753–754.

5. Э.Морли, Д.Миллер. Отчет об эксперименте по обнаружению эффекта Фицжеральда — Лоренца (1905)

Эдвард В.Морли, Дейтон К.Миллер

Report of an experiment to detect the Fitzgerald–Lorentz Effect (1905)

В эксперименте по обнаружению возможных изменений скорости света в различных направлениях при движении аппаратуры вдоль или поперек световых волн в неподвижном эфире в 1887 г. был получен нулевой результат.[21] После этого Фицжеральд и Лоренц выдвинули предположение, что при движении сквозь эфир размеры аппаратуры могут изменяться. Если такие изменения зависят от упругости или других физических свойств материалов, то можно попытаться обнаружить это экспериментально.

Для исследования этого вопроса мы сконструировали два аппарата. В первом мы заменили песчаник, применявшийся в 1887 г., на конструкцию из белой сосны. Силовое пересечение было построено из брусьев, имеющих 14 дюймов (355 мм) ширины, двух дюймов (51 мм) толщины и 14 футов (427 см) длины. Одни брусья были расположены с востока на запад, а другие – поперек них – с севера на юг, это перекрестие было соединено небольшими шипами. В пересечении брусьев было помещено устойчивое чугунное основание для обеспечения стабильности оптических путей. На концах после заполнения пространства между брусьями были прикреплены болтами железные опоры для зеркал. Все вместе было размещено на круглом поплавке, который был помещен в резервуар, заполненный ртутью, и мог в нем вращаться.

Каждое из шестнадцати зеркал имело 4 дюйма (102 мм) в диаметре. Зеркала были установлены на остриях трех регулировочных винтов, против которых имелись удерживающие пружины. На ос-

[21] Michelson A.A., Morley E.W. On the Relative Motion of the Luminiferous Ether. // Am.Jour.Sci. 1887. Vol.34. P.333.

новании на пересечении плеч крестовины были размещены плоское посеребренное полупрозрачное зеркало и компенсирующая пластинка, вырезанная из того же самого плоскопараллельного диска.

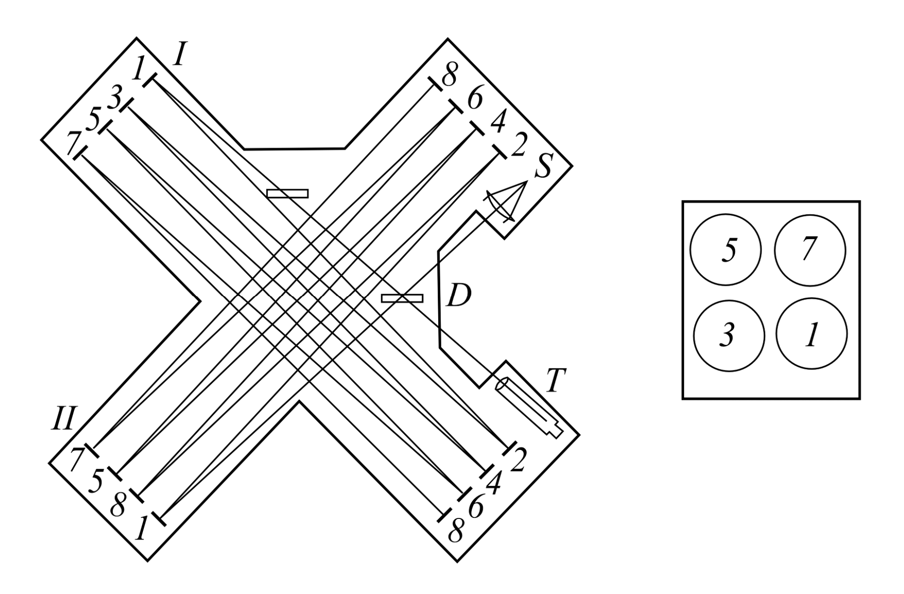


Рис. 5.1. Схема расположения оптических элементов в в интерферометре

Рис. 5.2. Схема расположения зеркал по одному из плеч интерферометра

На рис. 5.1 представлена немасштабная схема расположения оптики. Свет от источника S достигает зеркала D, часть света пропускается и достигает зеркала II. Свет последовательно отражается от зеркал 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8. От зеркала 8 он возвращается тем же путем к D, здесь часть отражается к наблюдателю T. Другая часть падающего луча отражается вдоль другого плеча крестовины, подобным же образом пропускается туда и обратно, возвращается и, наконец, поступает к наблюдателю. В реально примененной аппаратуре зеркало 5 расположено выше зеркала 3 на расстояние большее, чем его одна сторона, на рис. 5.2 показано это расположение. Весь путь света вдоль этих зеркал закрыт и защищен, чтобы уменьшить влияние воздушных потоков и других местных возмущений. В качестве источника света было использовано ацетиленовое пламя. Обладающий 35-кратным увеличением телескоп давал

ясное изображение зеркала 8, на поверхности которого были четко локализованы интерференционные полосы.

Были поставлены на свои места посеребренные и отполированные зеркала, измерены и сделаны примерно одинаковыми длины обоих путей. Установив интерференцию в натриевом свете, мы нашли центральную часть серии из примерно семисот интерференционных линий, которые были ярче, чем примыкающие к ним триста линий. После недолгого поиска мы смогли увидеть интерференционную картину в белом свете, хотя и не воспользовались винтами для подстройки зеркала, которое всегда должно быть параллельным заданной поверхности. Этого мы добились благодаря тому, что оба плеча были сделаны насколько это было возможно симметричными.

Теперь мы вычислили направление и скорость движения центра аппарата с учетом собственного движения Земли по орбите и движения Солнечной системы по отношению к определенной точке небосвода. В течение части августа и весь сентябрь, а также почти весь октябрь это движение никогда не совпадало с плоскостью нашей аппаратуры. Для других месяцев есть два момента в сутки, когда движение происходит в требуемой плоскости, исключая два дня, когда и эти два момента сливаются в один. В начале июня эти два момента времени приходятся примерно на 11 ч 20 мин до полудня по солнечному времени и на 21 ч 50 мин послеполуденного времени. Во время нашей последней серии наблюдений с 5 по 9 июля эти моменты приходились на 11 ч 40 мин до полудня и на 20 ч 20 мин после полудня по местному времени. После многих опытов с нитевым микрометром и со шкалой на зеркале 8 мы пришли к выводу, что было бы правильно накапливать большое число наблюдений, производя их за возможно более короткое время. Это нужно было выполнить в связи с присутствием всевозможных местных возмущений плотности воздуха, которые всегда создают трудности и иногда делают наблюдения невозможными, как если бы мы пытались измерить потоки в солнечной атмосфере. Вместо того, чтобы изменять период этих течений путем управления вращением Земли, без сомнения, быстрее получить результат, если сделать большое число наблюдений в заданное время, чем заменять период, чтобы измерять с большой точностью ежечасное измерение барометрической высоты. Мы производили это следующим образом. Один наблюдатель ходил по кругу вместе с движу-

щимся аппаратом, глядя в телескоп. Его глаз все время касался телескопа, поэтому он поддерживал вращение прибора с помощью мягких толчков время от времени посредством шнура, который был закреплен так, чтобы не вносить каких-либо напряжений в плечи аппарата. Комната была затемнена. Второй наблюдатель также ходил вокруг вместе с аппаратом. Когда индекс устанавливался на одной из шестнадцати расположенных на равном расстоянии друг от друга отметок он называл номер или производил другой сигнал, второй наблюдатель называл азимут или подавал какой-либо другой сигнал. Первый наблюдатель считывал показания для данного азимута, которые записывал второй наблюдатель. Назывался следующий азимут, считывались показания и так далее. Половина времени, однако, затрачивалась на то, чтобы скорректировать чрезмерное смещение интерференционных полос, вызванное изменениями температуры и тому подобными причинами; на это время наблюдения прекращались. Здесь требуется терпение и самообладание, без которых нельзя проводить работы подобного рода. Пробеги по двадцать или тридцать оборотов, включающие в себя 320 или 480 считываний, были обычным делом. Пробег в тридцать оборотов означал, что наблюдатель, который должен был делать за один оборот шестнадцать считываний за 65 или 75 секунд, проходил половину мили, с большим трудом удерживая свой глаз на окуляре, с тем чтобы в течение получаса не прерывать наблюдений. Эта работа, конечно, весьма утомительна.

Наблюдения не могли начаться вплоть до августа, поскольку не было завершено многое из того, что требовалось. В период учебных занятий наблюдения были невозможны. Поэтому мы рассчитывали возобновить нашу работу в июне. Но мы тогда обнаружили, что наш сосновый аппарат очень сильно страдает от сухости здания, настолько, что мы не смогли поддерживать настройку наших интерференционных полос. Мы не сумели вовремя построить другой деревянный аппарат, который не высыхал бы за зиму, а также хорошо продумать конструкцию другого аппарата, подобного первому. При планировании нового аппарата мы провели несколько экспериментов, чтобы убедиться, хотя это и было достаточно хорошо известно, не повлияет ли разница магнитного притяжения железных частей нашей аппаратуры на наши наблюдения. Мы подвесили два массивных куска железа на концы плеч так, что один из них находился вдоль силовых линий магнитного поля

Земли, а другой поперек них; эти соотношения менялись на противоположные при изменении положения аппаратуры на противоположное. Однако наблюдения при такой нагрузке из железа давали тот же результат, что и раньше. Затем мы поместили на край одного плеча калиброванный груз – железный брусок. Он был помещен так, что при одном азимуте был близок к силовой линии, а при другом – перпендикулярен, Если бы существовала разница всего в полмиллиграмма в 1200 граммах, то это было бы обнаружено, но такой разницы не существовало. Мы исследовали, на какое расстояние смещаются интерференционные полосы под влиянием груза в 100 г, и убедились в том, что было известно и раньше: земной магнетизм не является мешающим фактором.

Румфордский комитет Американской Академии искусств и наук внес вклад в целях поддержки проведения эксперимента, мы предложили оригинальный проект жесткой и по возможности легкой стальной конструкции прибора, удовлетворяющей требованиям легкости наблюдений. В этом новом аппарате все оптические части размещены на стальной раме, выполненной из пластин и уголкового железа и несколько напоминающей мостовые балки. В центре конструкции, имеющей форму крестовины, установлена стальная коробка кубической формы с ребрами по 14 дюймов (355 мм). Каждая из четырех сторон куба тщательно прикреплена к плечу аппарата, плечи имеют длину по 6,5 футов (около 2 м). Каждое плечо сделано из стальных пластин толщиной 3/8 дюйма (19 мм), шириной 18 дюймов (457 мм) на одном конце и 6 дюймов (152,5 мм) на другом, установленных на ребро и скрепленных на протяжении 24-дюймов (355 мм) пластинами, железными уголками и другими скобками, таким образом были сформированы пустотелые балки высокой жесткости, особенно в вертикальном направлении. Этот каркас показан на фотографии 1, из которой видно, что структура представляет собой в сущности две жесткие балки, каждая 14 футов (427 см) длиной, пересекающихся под прямым углом и симметричных в отношении как напряжений, так и жесткости.

На двух концах крестовины S и T (см. рис.5.1) находятся две вертикальные чугунные рамки, прикрепленные болтами, каждая из которых несет четыре зеркала, обозначенные 2, 4, 6 и 8. Против углов каждой из этих рамок находятся четыре сосновые рейки диаметром 3/4 дюйма (19 мм) и длиной 14 футов (427 см); каждая рейка пропущена по всей длине в латунную трубку диаметром 1 дюйм

(25,4 мм), каждая пара трубок соединена вместе с вертикальной фермой, как показано на фотографии 1. Напротив дальнего конца этих реек установлены рамы, удерживающие два набора зеркал, I и II (рис 5.1). Каждая из этих последних рам свободно подвешена с помощью двух тонких стальных лент и прочно удерживается напротив сосновых реек и прямо напротив них одним из двух фиксированных зеркальных держателей; давление передается с помощью регулируемой спиральной пружины. Таким образом, расстояние между противоположными системами зеркал зависит только от сосновых реек. Эта конструкция позволяет удобно заменять стержни на другие из другого материала, так что эксперимент может быть легко использован для проверки того, по-разному ли зависят размеры различных материалов от движения сквозь эфир. Диагональные зеркала удерживаются регулируемыми кронштейнами, привинченными к стальной раме около центра.

Наблюдательный телескоп с полуторадюймовой апертурой и увеличением в 35 раз прикреплен к кронштейнам, привинченным к стальной раме. Ацетиленовая лампа и четырехдюймовая конденсорная линза установлены на деревянной полке на достаточном расстоянии от зеркал, которые защищены асбестовыми экранами с воздушными промежутками. Весь световой путь в аппарате закрыт деревянным покрытием, сделанным из сосновых досок толщиной 7/8 дюйма (22 мм) и имеющим там, где это требуется, дверцы и стеклянные окна. Глаза наблюдателя защищаются от внешнего света темной тканью

Весь аппарат в целом весит около 1900 фунтов (862 кг), он установлен на круглой деревянной платформе около 5 футов (1,5 м) диаметром. Кольцеобразный выступ на нижней части платформы погружен в ртуть на такую глубину, чтобы платформа с аппаратом могла плавать. Ртуть содержалась в кольцевом чугунном чане таких размеров, чтобы между железом и поплавком оставался зазор около половины дюйма. В центр чана вмонтирована маленькая шпилька, которая входит в углубление в деревянном поплавке, чтобы удерживать поплавок от соприкосновения со стенками чана.

На фотографии 1 показана стальная конструкция и поплавок вместе с соединениями, которые поддерживают части на нужном расстоянии. На фотографии видны рамы с зеркалами и телескоп, но лампа и линзы отсутствуют. Фотография 2 (рис. 5.3) показывает аппарат, как он выглядел во время наблюдений. В этом аппарате

интерференционные полосы, настроенные в определенный понедельник, остаются в порядке в течение всей недели.

Наблюдения проводились по той же схеме, что и при использовании предыдущего аппарата

Мы получили 260 полных наблюдений, состоящих каждое из считывания шестнадцати азимутов по окружности. На момент наблюдений, скорость годового движения Земли вместе со скоростью движения Солнечной системы может быть принята как 33,5 км/с. Предполагается, что Солнечная система движется к точке с прямым восхождением 277,5° и северным склонением 35° со скоростью 11 миль в секунду. Скорость света 300.000 км/с, отношение квадратов скоростей составляет $0{,}72 \cdot 10^8$. Длина пути луча в нашем аппарате составляла 3224 см, в этом расстоянии укладывается $5{,}5 \cdot 10^7$ волн натриевого света. Ожидаемый эффект повторяется каждые 90°, смещение интерференционных полос в соответствии с простой кинематической теорией составит $11 \cdot 10^7 \div 0{,}72 \cdot 10^8$. Это 1,5 длины волны.

Как было отмечено, имеются два момента времени в день, когда наблюдения благоприятны. Для этих двух моментов было вычислено направление движения с привязкой к фиксированной линии на полу комнаты, и мы имели возможность провести наблюдения в эти два момента времени, которые соответствовали линии дрейфа. Сделав это и вычтя постоянную составляющую, чтобы сделать алгебраическую сумму наблюдений равной нулю, мы получили определенный результат. Затем прибавив первый период к девятому и так далее, поскольку эффект повторялся по окружности, мы получили окончательный результат *. Азимут, обозначенный 1, означает, что телескоп аппарата был направлен Сев. 29° Вост.; 3 – Сев. 16° Зап.; 5 – Сев. 61° Зап.; и т.д. Эти числа могут быть уверенно отнесены к ошибкам наблюдения.

Результат наблюдений при различных азимутах

---

* См. также статью 1905: E.W. Morley, Dayton Miller, «On the Theory of Experiments to Detect Aberration of the Second Degree» и «Report of an Experiment to Detect Change of Dimension of Matter Produced by its Drift through the Ether», Science, Vol. XXI. No. 531, p. 339, 3 March 1905. http://www.orgonelab.org/energyinspace.htm, где утверждается, что полученные данные были соизмеримы с ошибками наблюдений. — *Прим. ред.*

Азимут	8	7	6	5	4	3	2	1
Длина волны	+0,0075	+0,0088	+0,0113	-0,0102	-0,0123	+0,0027	-0,0021	-0,0062

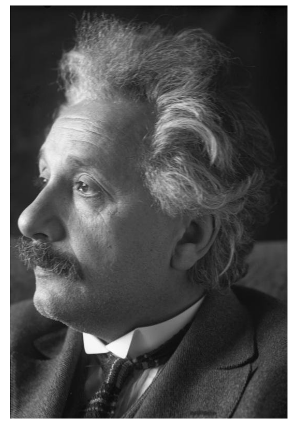
По этим данным мы вычислили некоторые кривые теоретической формы, имеющие шестнадцать равноотстоящих отсчетных точек на половине окружности. Это было сделано методом наименьших квадратов. Наиболее вероятная из этих кривых имела амплитуду 0,0073 длины волны, а нуль находился посредине, между азимутами, обозначенными 4 и 5. Усреднение данных наблюдений дало 0,0076 длины волны; после вычитания ординат вычисленной кривой значение остатка составило 0,0066 длины волны. Сумма квадратов остатков раньше составляла $565 \cdot 10^{-4}$, после этого – $329 \cdot 10^{-4}$. Поэтому мы могли декларировать, что эксперимент показал: если имеется некоторый эффект изучаемого явления, он составляет не более сотой части вычисленного значения. Если, как предполагалось, сосна подвержена воздействиям, то степень воздействия та же, что и на песчаник. Если эфир около аппарата не движется вместе с ним, то различие в скорости меньше, чем 3,5 км/с, значит, эффект воздействия на материал аннулирует искомый эффект.

Можно думать, что проведенный эксперимент доказал лишь, что в спокойной подвальной комнате эфир увлекается вместе с ней. Поэтому мы хотим поднять место размещения аппарата на возвышенность, закрыть его только лишь прозрачным покрытием с тем, чтобы посмотреть, не будет ли обнаружен какой-либо эффект. Как только Румфордский комитет даст нам разрешение использовать неизрасходованные средства, мы надеемся выполнить эксперимент в такой форме, насколько это будет возможно в таких сложных условиях.

Philosophical Magazine, 8(6), 680–685, 1905. Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, V. XLI, No.12, August, 1905; pp. 321–8 **http://bit.ly/hw3FuI**

6. А.Эйнштейн об эфире (цитаты)

А.Эйнштейн, 1905: «Введение светоносного эфира является … излишним»



Примеры подобного рода, как и неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно «светоносной среды», ведут к предположению, что не только в механике, но и в электродинамике никакие свойства явлений не соответствуют понятию абсолютного покоя и даже, более того,— к предположению, что для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы те же самые электродинамические и оптические законы, как это уже доказано для величин первого порядка. Это предположение (содержание которого в дальнейшем будет называться «принципом относительности») мы намерены превратить в предпосылку и сделать, кроме того, добавочное допущение, находящееся с первым лишь в кажущемся противоречии, а именно, что свет в пустоте всегда распространяется с определенной скоростью V, не зависящей от состояния движения излучающего тела. Эти две предпосылки достаточны для того, чтобы, положив в основу теорию Максвелла для покоящихся тел, построить простую, свободную от противоречий электродинамику движущихся тел. Введение «светоносного эфира» окажется при этом излишним, поскольку в предлагаемой теории не вводится «абсолютно покоящееся пространство», наделенное особыми свойствами, а также ни одной точке пустого пространства, в котором протекают электромагнитные процессы, не приписывается какой-нибудь вектор скорости.

Собр. науч. тр. М.: Наука. 1965. Т.1. С. 7–8. Zur Elektrodynamik der bewegter Korper. Ann. Phys., 1905, 17, 891—921.

А.Эйнштейн, 1910: «Нельзя создать удовлетворительную теорию, не отказавшись …»

Эти две системы отсчета не могут отличаться одна от другой; признавая это, нелепо отводить роль одной из систем, считая ее неподвижной по отношению к эфиру. Отсюда следует, что нельзя создать удовлетворительную теорию, не отказавшись от существования некоей среды, заполняющей все пространство.

Собр. науч. тр. М.: Наука. 1965. Т.1. С. 682–689.
Arch. sci. phys. Natur., ser. 4, 1910, 29, 5–2, 125–144.

А.Эйнштейн, 1920: «пространство немыслимо без эфира»

Согласно общей теории относительности, пространство немыслимо без эфира; действительно, в таком пространстве не только было бы невозможно распространение света, но и не могли бы существовать масштабы и часы и не было бы никаких пространственно–временных расстояний в физическом смысле слова. Однако этот эфир нельзя представить себе состоящим из прослеживаемых во времени частей; таким свойством обладает только весомая материя; точно так же к нему нельзя применять понятие движения.

Собр. науч. тр. М.: Наука. 1965. Т.1. С. 682–689.
Verlag von Julius Springer. Berlin, 1920.

А.Эйнштейн, июнь 1921: «теория относительности сложится как домик из карт»

Я считаю, что я действительно нашел связь между гравитацией и электричеством, если только эксперименты Миллера основаны на фундаментальной ошибке. Иначе вся теория относительности сложится как домик из карт.

А.Эйнштейн, в письме к Р.Милликену, июнь 1921.
Ronald W. Clark: Einstein: The Life and Times,
World Publishing Co., NY 1971., P. 328 http://bit.ly/SybSV

А.Эйнштейн, июнь 1924: «мы не можем в теоретической физике обойтись без эфира»

Но даже если эта возможность созреет в подлинную теорию, мы не можем в теоретической физике обойтись без эфира, т. е. континуума, наделенного физическими свойствами, ибо общая теория относительности, основных идей которой физики, вероятно, будут придерживаться всегда (?! — В. А.), исключает непосредственное

дальнодействие; каждая же теория близкодействия предполагает наличие непрерывных полей, а следовательно, существование «эфира».

Собр. науч. тр. М. Наука. 1966. Т.2. С. 154.
Über den Äther. Schweiz. naturforsch.Gesellschaft, Verhandlungen, 105, 1924, 85–93.

А.Эйнштейн, 8 июля 1925: мнение об экспериментах Миллера

Мое мнение об экспериментах Миллера следующее. … В случае если положительный результат будет подтвержден, специальная теория относительности и вместе с ней общая теория относительности, в их текущей форме, будут недействительными. Experimentum summus judex.

А.Эйнштейн, в письме к Э.Слоссону (Edwin E. Slosson) от 8 июля 1925 г. (из копии в архиве Еврейского университета в Иерусалиме). http://bit.ly/SybSV

А.Эйнштейн, 19 января 1926: я рекомендую вам пари, что эксперименты Миллера окажутся неисправными

Поскольку эксперименты Д. Миллера в настоящее время приковывают главное внимание, я считаю правильным выразить мое мнение о значении этих экспериментов в этом общественном месте. Если результаты экспериментов Миллера действительно будут подтверждены, теория относительности не может быть сохранена. Потому что в таком случае, эксперименты предполагают, что в системе координат для соответствующего состояния движения (Земля) скорость света в вакууме зависела бы от направления. Таким образом, принцип постоянства скорости света, являющийся одним из двух краеугольных камней теории, был бы опровергнут. Однако, на мой взгляд, вряд ли есть возможность того, что г-н* Миллер прав. Его результаты являются неправильными и могут

* Переводчица статьи на английский язык Daniela-Sabina Bruckner обратила внимание на отсутствие титула «профессор» или «профессор доктор» по отношению к Д.К.Миллеру, что в немецкоязычной культуре является важным и может свидетельствовать о личном отношении. Дополнительная информация, скан немецкой статьи и англоязычный перевод текста содержится по ссылкам из статьи James DeMeo “Dayton Miller’s Ether-Drift Experiments: A Fresh Look”: http://www.orgonelab.org/miller.htm — *Прим. ред.*

объясняться еще незамеченными источниками ошибок, которые вызывают систематический эффект. Кроме того, результаты Миллера на самом деле вряд ли заслуживают доверия, поскольку они утверждают, что скорость света сильно зависит от высоты над уровнем моря. Немецкий физик (Томашек) также недавно провел электрический эксперимент на значительных высотах над уровнем моря (эксперимент Троутона–Нобля), результат которого противоречит результату Миллера, поскольку показывает отсутствие «эфирного ветра» на больших высотах. Подводя итог: если вы, дорогой читатель, хотели бы использовать эту интересную научную ситуацию, чтобы сделать ставку, я рекомендую вам пари, что эксперименты Миллера окажутся неисправными, или, что его результаты не имеют ничего общего с «эфирным ветром». Я сам был бы весьма рад поставить свои деньги на это.

Meine Theorie und Millers Versuche

Von

Professor Albert Einstein

Der Berliner Korrespondent der Hearst-Presse O. D. Tolischus kabelt seinen Blättern den folgenden Artikel in Beantwortung der Zweifel an der Relativitäts-Theorie, die durch die Experimente von Professor Dayton C. Miller in Amerika entstanden sind. Wir veröffentlichen nach Vereinbarung mit dem Amerikanischen Konzern den Artikel.

Da die Versuche von D. Miller gegenwärtig im Mittelpunkte des Interesses stehen, ist es wohl angebracht, wenn ich meine Ansicht über die Bedeutung dieser Versuche hier öffentlich mitteile.

Wenn die Ergebnisse der Millerschen Versuche sich bestätigen sollten, so wäre die Relativitätstheorie nicht aufrecht zu erhalten. Denn die Versuche würden dann beweisen, daß mit Bezug auf Koordinatensysteme von geeignetem Bewegungszustande (Erde) die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit von der Richtung abhinge. Damit würde das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit widerlegt, welches eines der beiden Grundpfeiler bildet, auf welchen die Theorie ruht. Es ist aber nach meiner Ansicht so gut wie gar keine Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden, daß Herr Miller recht hat. Seine Ergebnisse sind unregelmäßig und deuten eher auf eine nicht entdeckte Fehlerquelle hin als auf einen systematischen Effekt. Ferner sind Millers Resultate an und für sich wenig glaubhaft, weil sie eine starke Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Höhe über dem Meeresniveau behaupten. Endlich hat jüngst ein deutscher Physiker (Tomaschek) ebenfalls in beträchtlicher Höhe über dem Meere einen elektrischen Versuch gemacht (Trouton-Noblesches Experiment), dessen Ergebnis insofern gegen Millers Ergebnis spricht, als es für die Abwesenheit eines „Aetherwindes" in großer Meereshöhe spricht.

Zusammenfassend kann ich sagen: Wenn du, verehrter Leser, diese interessante wissenschaftliche Situation zum Abschließen einer Wette benützest, so wette lieber darauf, daß Millers Versuche sich als fehlerhaft erweisen, bzw. daß seine Ergebnisse nichts mit einem „Aetherwind" zu schaffen haben. Ich wenigstens wäre gern bereit, eine solche Wette abzuschließen.

Статья А.Эйнтшейна «Моя теория и эксперименты Миллера» (*“Meine Theorie und Millers Versuche”), Vossische Zeitung, 19 января 1926 г.*

Albert Einstein: “Meine Theorie und Millers Versuche”, Vossische Zeitung, 19 Jan. 1926. http://bit.ly/gIcdKO

7. А.Майкельсон. Влияние вращения Земли на скорость света. Часть I. (1925)

Альберт А. Майкельсон, Чикагский университет

The effect of the earth's rotation on the velocity of light. Part. 1. A.A.Michelson

Историческая справка. Первоначально теория была выдвинута в 1904 г. Эксперимент был проведен по настоятельному требованию д-ра Л.Зильберштейна. Предварительный эксперимент в Маунт Вилсон показал, что необходимо прибегнуть к трубопроводу с откачанным воздухом.



А.Майкельсон, 1918 г.

В Philosophical Magazine (6) № 8 за 1904 г. (с. 716) был предложен план проверки влияния вращения Земли на скорость света. Выражение для разности путей двух интерферирующих лучей, один из которых движется по часовой стрелке, а другой против, может быть выведено из гипотезы стационарного эфира следующим образом.

Если l_1 – это длина пути при широте Φ_1 а l_2 – при широте Φ_2, v_1 > и v_2 – соответствующие линейные скорости вращения Земли, а V – скорость света, то разница во времени, требуемая для возвращения лучей в исходную точку, составит:

$$T = \frac{2l_2 v_2}{V^2 - v_2^2} - \frac{2l_1 v_1}{V^2 - v_1^2}$$

или с допустимым приближением $T = 2\frac{l_2 v_2 - l_1 v_1}{V^2}$

или, если

$$l_1 = l_0 \cos\Phi_1; v_1 = v_0 \cos\Phi_1;$$
$$l_2 = l_0 \cos\Phi_2; v_2 = v_0 \cos\Phi_2;$$

и $\Phi_1 - \Phi_2 = \frac{h}{R}$,

R – радиус Земли, результирующая разность в фазе для двух лучей будет:

$$\Delta = \frac{4lh}{V\lambda}\omega \sin\Phi ,$$

где ω — угловая скорость Земли, а λ — длина волны примененного света.

Эксперимент оставался долгие годы в состоянии неопределенности, пока по настоянию д-ра Л. Зильберштейна автора не убедили в важности работы, несмотря на серьезные трудности, связанные с поиском необходимых фондов. Самые большие расходы должны быть сделаны в связи с созданием необходимого для работы трубопровода длиной в милю и диаметром в фут. Надеясь, что можно будет обойтись без этого устройства, решили попытаться провести эксперимент на открытом воздухе в Маунт Вилсон.

Работы были проведены в Маунт Вилсон летом 1923 г. с цепью длиной в одну милю. Интерференционные полосы между двумя лучами света, один из которых перемещался по часовой стрелке, а другой – против, наблюдались более четко в течение получаса до и после захода Солнца. Но даже и в оптимальных условиях интерференционные полосы были настолько неустойчивы, что провести какие-либо надежные измерения не представлялось возможным.

Возникло сомнение относительно возможной связи между любым ожидаемым смещением и исходным нулем, с которым следует сравнивать результаты. Такой исходный нуль был установлен на основе двойной схемы, в одной из которых та область, в которой ожидается смещение, была гораздо больше такой же области в дру-

гой. Невозможность получения точных результатов на открытой площадке в Маунт Вилсон показала, что было совершенно необходимо остановиться на конструкции трубопровода около 1 мили длиной и диаметром в 1 фут, из которого может быть откачан воздух.

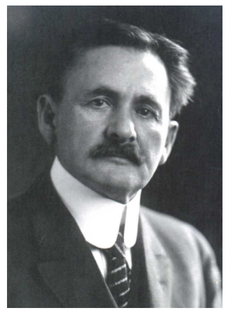
Фонды на этот эксперимент размером до 17 тыс. долл. были представлены Чикагским университетом, а дополнительные вложения сделал д-р Л. Зильберштейн – 491,55 долл. С такой поддержкой было решено провести эксперимент в штате Иллинойс, и к этой работе, которая будет обсуждена в следующей статье, было решено привлечь д-ра Геля.

The Astrophys. J. April 1925. Vol LXI № 5. P.137-139.

8. А.Майкельсон, Г.Гель. Влияние вращения Земли на скорость света. Часть II (1925)

А.А.Майкельсон, Генри Г.Гель, При участии Фреда Пирсона

The effect of the earth's rotation on the velocity of light. Part II. A.A.Michelson, Henry G.Gale. Assisted by Fred Pearson







Альберт Майкельсон **Генри Гель**

Экспериментальная проверка теории.

Из 12-дюймового (305 мм) трубопровода, лежащего на поверхности земли по периметру прямоугольника размером 2010×1113 футов (620×340 м), был откачан воздух. Свет от угольной дуги был разделен в одном углу тонко покрытым зеркалом на прямой и отраженный лучи, которые отражались по углам прямоугольника при помощи зеркал. Два луча, возвращаясь к начальному зеркалу, создавали интерференционные полосы.

Луч, пересекающий прямоугольник в направлении против часовой стрелки, двигался с запаздыванием. Наблюдаемое смещение полос составило 0,230±0,005, согласуясь с вычисленным значением в 0,236 ±0,002 в пределах погрешности эксперимента.

Прямоугольный участок земли в Клиринге, шт. Иллинойс, 2010 футов (610 м) с востока на запад и 1113 футов (340 м) с севера на юг был тщательно проверен и огорожен д-ром Канненштайном; 12-дюймовые водопроводные трубы были уложены прямо и на одном

уровне по периметру, с дублированием линии поперек одного конца.

Общий план конструкции показан на рис.8.1. На металлических коробках по углам установлены зеркала. На рис. 8.2 подробно показана одна из угловых коробок. Чувствительные системы винтов с рукоятками, которыми можно управлять с помощью хорошо подогнанных соединений, позволяли извне регулировать положение зеркал по горизонтали и по вертикали. Коробки были установлены в тяжелые бетонные опоры и соединены с трубами при помощи гибких соединений из брезента и резины. Эти соединения были вставлены в трубопроводы на расстоянии друг от друга около 400



Эксперимент по эфирному ветру, проведенный А.Майкельсоном в 1924 г. http://bit.ly/eB9wXj

футов (120 м) и служили удлинительными соединениями.

Плоскопараллельные пластины в *A* и *B* были слегка покрыты золотом, а пластина в точке *C* — серебром для отражения и пропускания света в нужном соотношении. Зеркала в точках *D*, *E*, и *F* были покрыты толстым слоем серебра. Телефонная система, состоящая из переносных устройств, и любезно предоставленная Чикагской телефонной компанией, позволяла наблюдателю в *A* давать инструкции своим ассистентам, которые находились в каждом углу, по регулировке зеркал в случае необходимости. Воздушный насос Вортингтона, приводимый в действие мотором в 50 лошади-

ных сил, снижал давление в трубах за 3 часа примерно до половины дюйма рт.ст. Большинство измерений было выполнено тогда, когда остаточный воздух в трубах был откачан до давления от половины до одного дюйма рт.ст. (13–25 мм рт.ст.). При таких давлениях интерференционные кольца были достаточно постоянными и так четко видимы, как только можно желать.

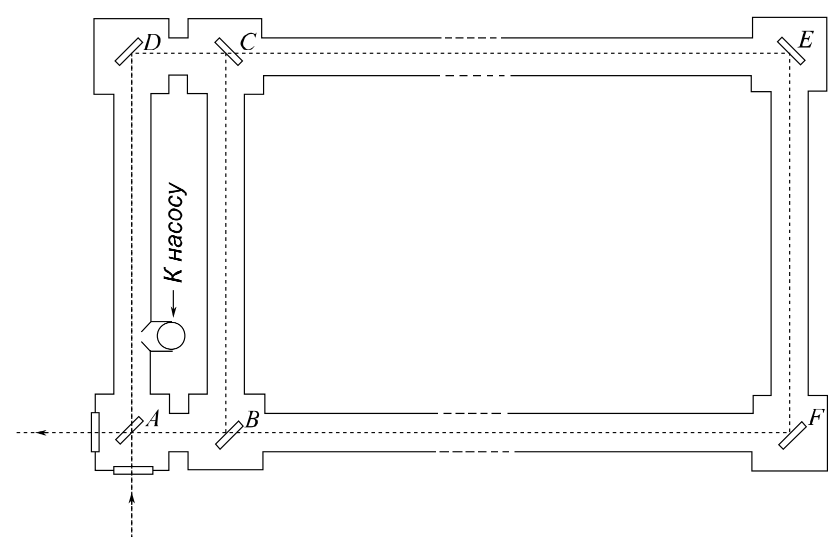


Рис. 8.1. План участка, на котором показано расположение зеркал

Линии, которые нужно было измерять, были созданы лучами, проходившими в противоположных направлениях по траектории *ADEF*. В качестве отправной отметки, от которой следует проводить измерения, был сформирован второй ряд линий при помощи системы зеркал *ABCD*. Площадь, охватываемая этой траекторией *(ABCD — В.А.)*, была намного меньше (чем в контуре *ADEF — В.А.*), что дало возможность измерять и записывать смещение центральных полос для двух световых путей.

В общем два ряда полос не совпадут по положению совершенно независимо от какого бы то ни было сдвига эфира или вращения Земли до тех пор, пока два прямых и два отраженных изображения источника не будут полностью наложены друг на друга. Центральные полосы ряда, сформированного зеркалом для короткого светового пути, будут посредине между прямым и отраженным изобра-

жением источника, а центральная полоса длинного светового пути должна быть посредине между прямым и отраженным изображениями, если нет влияния вращения Земли.

Чтобы скорректировать любое несовпадение двух рядов лучей, наблюдательный телескоп (6-дюймовый ахроматический объектив и 2-дюймовый микрометрический окуляр) был сфокусирован на изображениях источника (дуги или щели), и очевидное смещение центральной полосы длинного светового пути по отношению к центральной полосе для короткого светового пути было скорректировано на расстояние, равное разности в основном положении двух изображений для двух световых путей. Полосы наиболее удобно наблюдались в перекрывающихся конусах света на расстоянии одного дюйма снаружи или внутри фокальной плоскости.

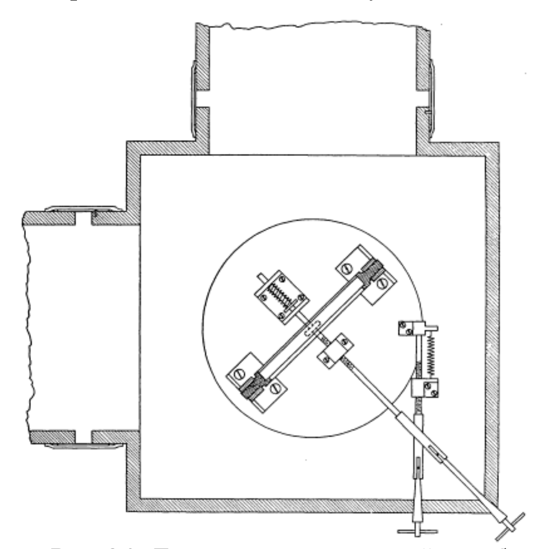


Рис. 8.2. Детальная схема угловой коробки и крепления в ней зеркал

Около половины определений было получено при помощи дуги, расположенной прямо перед окном в точке A, и около половины — при помощи конденсирующей линзы, щели и компенсирующей линзы. Вторая компоновка дала гораздо больше света, чем первая, но в измеряемых смещениях не было очевидной разницы.

Смещение, вычисленное из допущения стационарного эфира, а также и в соответствии с относительностью, есть

$$\delta = \frac{4A\omega \sin \Phi}{\lambda V}$$

где δ — смещение полос; A — площадь, км^2; Ф — широта (41°46’); V — скорость света; ω — угловая скорость вращения Земли; λ —

эффективная длина волны света. Измерения были сделаны в лаборатории; сравнивались полосы, произведенные той же системой зеркал и той же самой 20–амперной дугой переменного тока, с полосами, произведенными натриевым светом от кусочка стекла в кислородно–водородном пламени. Свет от дуги был уменьшен примерно до той же яркости, что и во время эксперимента в Клиринге, в процессе его передачи через довольно узкую щель во вращающемся диске. Среднее значение 10 определений дает

$$\lambda = 5700 \pm 50 \text{Å}.$$

Смещение полос за счет вращения Земли было измерено различными наблюдателями в разные дни с полной перенастройкой зеркал; отраженное изображение иногда находилось справа, а иногда – слева от передаваемого изображения. Отклонения усреднялись обычно в сериях по 20 и в том же порядке, в котором они были получены. Результирующие средние значения приведены в таблице.

Номер наблюдения *	Смещение полос	Число наблюдений	Отклонение от среднего
1	0,252	20	0,022
2	0,255	20	0,025
3	0,193	20	0,037
4	0,246	20	0,016
5	0,235	20	0,005
6	0,207	26	0,023
7	0,232	20	0,002
8	0,230	20	0,000
9	0,217	20	0,013
10	0,198	20	0,032
11	0,252	20	0,022
12	0,237	20	0,007
13	0,230	23	0,000
	Среднее 0,230	Полное 269	Среднее отклонение от среднего 0,016

* Наблюдения 1 и 2 скорректированы только для прямого изображения, 1-6 без коллиматора, 7-13 с коллиматором

Полный набор 269 отсчетов и их распределение около среднего значения показаны графически на рис. 8.3. Окончательное отклонение, выраженное в долях интерференционной линии, составляет:

наблюдаемое: 0,230 ± 0,005;

вычисленное: 0,236 ± 0,002.

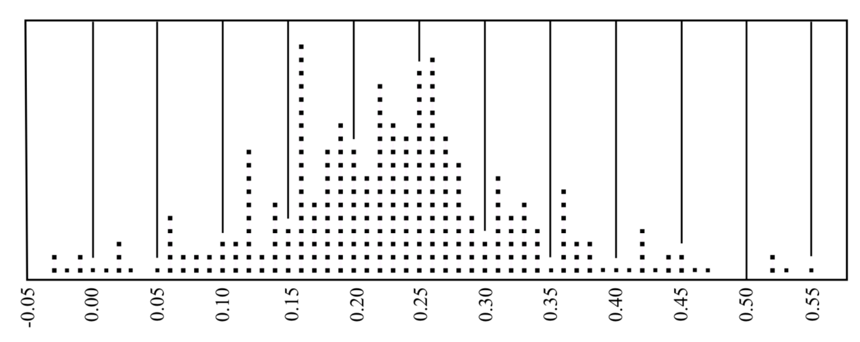


Рис. 8.3. Распределение наблюдений

Учитывая трудности наблюдений, следует констатировать, что наблюдаемый и вычисленный сдвиги согласуются в пределах погрешности наблюдений.

Этот эксперимент был успешно завершен в значительной степени благодаря дружескому сотрудничеству руководителей городского совета Чикаго, полковника А.А.Спрэйга, председателя Комиссии по общественным работам; господина Х.Л. Лукаса, руководителя отделения водопроводной службы и господина Б.У. Куллена, руководителя южного района того же отделения; благодаря любезности промышленного отдела Клиринга в лице Г.Х. Портера; благодаря помощи Чикагской телефонной компании и сердечной поддержке и готовности помочь университета.

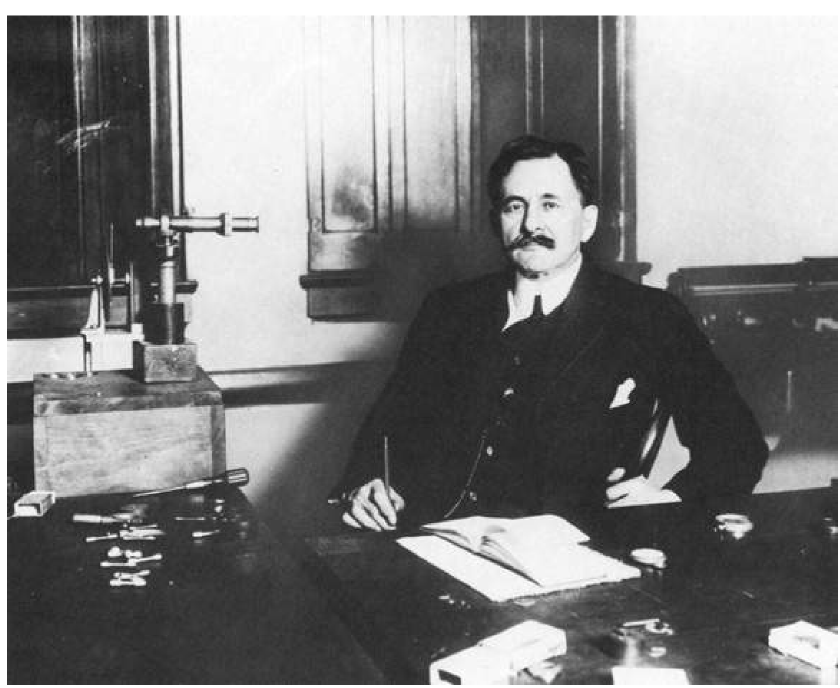
Мы выражаем особую благодарность президенту Буртону, г-ну Дж.К. Динсморе, г-ну Л.Р. Флуку и г-дам Томасу О'Доннелу, Джозефу Парди и Чарльзу Штейну.

Физическая лаборатория Риерзон, Университет Чикаго, март 1925 г.

The Astrophysical J. April 1925. Vol. LXI. № 5. P. 140–145.



Физическая лаборатория Риерзон, Университет Чикаго



А.Майкельсон в Чикагском университете http://bit.ly/eB9wXj

9. Д.К.Миллер. Эфирный ветер. Доклад, прочитанный в Вашингтонской академии наук (1925)

Дейтон Кларенс Миллер, Кейсовская Школа прикладных наук

Significance of the ether-drift experiments of 1925 at Mount Wilson. Dayton C.Miller



Д.К.Миллер, около 1921 г.

При установлении волновой теории света необходимо было допустить существование всепроникающей среды, в которой могут возникать и распространяться волны; эта гипотетическая среда была названа «эфиром». Эфир был наделен теми свойствами, которые были необходимы для объяснения наблюдаемых явлений. Многие физики пытались обнаружить существование эфира прямым экспериментом. Наиболее важный из проектов подобных опытов предложен А.А.Майкельсоном в 1881 г. и основан на представлении о том, что эфир как целое находится в покое и что световые волны распространяются в свободном эфире во всех направлениях и всегда с одной и той же скоростью по отношению к эфиру. Допускалось также, что Земля при своем движении вокруг Солнца свободно проходит сквозь эфир, причем последний остается совершенно неподвижным в пространстве. Опыт, предложенный Майкельсоном, должен был открыть относительное движение Земли и эфира, которое часто называют «эфирным ветром» (ether drift).

Этот опыт основан на том предположении, что **кажущаяся** скорость света изменяется в зависимости от того, перемещается ли наблюдатель вместе с Землей по линии распространения света или

перпендикулярно этой линии. Скорость света равняется 300000 км/с, а скорость Земли составляет одну десятитысячную скорости света и равна 30 км/с. Если орбитальная скорость Земли в данном случае действует непосредственно, то обе кажущиеся скорости должны различаться на 30 км/с или на одну десятитысячную. Однако не существует методов измерения скорости света при таких простых условиях. Во всех методах необходимо, чтобы луч света проходил до удаленной точки и возвращался обратно в исходную точку, причем положительный эффект движения Земли, сказывающийся на луче, идущем вперед, должен был нейтрализоваться на луче, идущем обратно. Однако для движущегося наблюдателя было показано, что нейтрализация не будет полной, кажущаяся скорость луча, идущего в ту и другую сторону по направлению движения Земли, должна отличаться от кажущейся скорости луча, идущего перпендикулярно в ту или другую сторону, в том же направлении, что и квадрат скорости Земли к квадрату скорости света, т.е. $(0{,}0001)^2$ или 0,00000001.

Ничтожные разности скоростей, обусловленные эфирным ветром, можно обнаружить замечательным инструментом, так называемым интерферометром, придуманным Майкельсоном. В этом приборе пучок света расщепляется на два при помощи так называемого «полупосеребренного» зеркала, в котором слой серебра настолько тонок, что приблизительно половина пучка проходит сквозь него, а остальная половина отражается обычным способом. Таким образом, эти два пучка проходят в направлении, перпендикулярном друг к другу. На конце пути каждого из этих пучков имеется по зеркалу, от которых они отражаются и возвращаются в исходную точку. Если пути обоих пучков равны, т.е. если на них укладывается одно и то же число световых волн, то, воссоединяясь, они находятся в одинаковых фазах. Если же один путь длиннее другого на полволны, то волны соединяются в противоположных фазах, так что вершина одной из них совпадает с углублением другой. В результате получаются так называемые «интерференционные полосы», наблюдение которых позволяет открыть незначительные изменения в скорости света на том и другом пути.

В 1887 г. Майкельсон в сотрудничестве с Эдвардом В.Морли существенно улучшил метод и приборы и использовал интерферометр с целью открыть, производит ли движение Земли в эфире предсказываемые теорией влияния. К сожалению, мы не знаем, в

каком абсолютном направлении движется Земля в пространстве, и поэтому невозможно установить интерферометр точно в этом направлении. Поэтому весь аппарат был установлен на фундаменте, который плавал в ртути, так что прибор можно было поворачивать во всех азимутах горизонтальной плоскости наблюдений. Вращение Земли около оси заставляет плоскость интерферометра двигаться по поверхности конуса, осью которого служит ось Земли, и таким образом придает прибору различную ориентировку. Наблюдению же доступна только та компонента действительного «эфирного ветра», которая лежит в горизонтальной плоскости интерферометра. Поэтому **кажущийся** азимут и величина эфирного ветра должны изменяться в зависимости от времени наблюдения. Ветер, перпендикулярный к плоскости интерферометра, не должен вообще вызывать эффекта, вполне возможно, что такие условия осуществляются в известные времена года.

Я не могу сейчас излагать детали деталей этого эксперимента. Наблюдения состояли в рассматривании при помощи телескопа системы интерференционных полос, образованных двумя пучками света. При вращении интерферометра вокруг оси эфирный ветер должен вызывать колебания всей системы полос, которые движутся сначала в одну сторону, потом в другую, причем так, что период этого колебания составляет половину времени обращения интерферометра вокруг его вертикальной оси. Для относительной скорости движения Земли и эфира, равной орбитальной скорости Земли, т.е. 30 км/с, смещение в первоначальном опыте Майкельсона и Морли должно было составлять 0,4 полосы.

В ноябре 1887 г. Майкельсон и Морли опубликовали заключения, выведенные из наблюдений, сделанных в июле этого года. Эти заключения они сформулировали следующим образом:

«... если учитывать только движение Земли по ее орбите..., то наблюдение показывает, что относительное движение Земли и эфира, вероятно, меньше одной шестой орбитальной скорости Земли и, наверное, меньше одной четверти ее»

(т.е. меньше 7,5 км/с). Этот результат, который был истолкован многими как нулевой результат, или, как часто говорят, отрицательный результат, возбудил у многих серьезные сомнения в справедливости гипотезы светового эфира. Однако в отчете Майкельсона и Морли имеется важное «добавление», которое начинается следующим замечанием:

«... но не представляется невозможным, что даже на умеренной высоте над уровнем моря, например, на вершине отдельно стоящей горы, относительное движение может быть ощутимым для аппарата, подобного использованному в наших опытах».

На международном конгрессе физиков в Париже в 1900 году лорд Кельвин произнес речь, в которой он рассматривал теорию эфира. Он заметил, что *«единственное облако на ясном небосклоне теории есть нулевой результат опытов Майкельсона и Морли»*. Морли и автор присутствовали на конгрессе, и при разговоре на конгрессе последний выразил уверенность, что опыт будет повторен с более чувствительными приборами. Автор в сотрудничестве с Морли построил интерферометр, приблизительно в 4 раза более чувствительный, чем прибор, использованный в первом опыте, причем длина пути в последнем приборе составляла 250 футов, и на ней укладывалось приблизительно 150.000.000 волн. В этом приборе относительная скорость Земли должна сказываться в смещении интерференционных полос на 1,5 полосы. Именно такой прибор и употреблялся все время с тех пор. Оптические части его были совершенно новые, и вообще из первоначальной аппаратуры не было использовано ничего, за исключением резервуара с ртутью и деревянного поплавка.

Подобный прибор с фундаментом, сделанным из деревянных брусьев, употреблялся в 1902 и 1903 гг., но изменения в деревянной раме вследствие вариации влажности и температуры делали точные измерения невозможными. Инженер проф. Нэф сконструировал новую опорную раму, отличающуюся жесткостью и симметрией. Эта рама, или фундамент, была построена из стали и установлена в подвальном помещении физической лаборатории Школы прикладных знаний в Кливленде; наблюдения с ней производились в 1904–1905 гг. Результаты этих наблюдений опубликованы в Philosophical Magazine зимой 1905 г. Эти результаты были сформулированы следующим образом:

...« Поэтому мы можем утверждать, что эфир вблизи аппарата не двигается вместе с ним; разность скоростей меньше 3,5 км/с, если только дефекты постановки опыта не аннулируют влияние увлечения. Некоторые думают, что этот опыт показывает только, что эфир в некоторых подвальных помещениях не двигается вместе с ними. Мы хотим поэтому расположить аппарат

на вершине, чтобы посмотреть, не может ли быть там обнаружен эффект».

Именно в это время вопросом заинтересовался Эйнштейн, который опубликовал в 1905 г. работу под названием «Электродинамика движущихся тел». Эта работа была первой в длинном ряду статей Эйнштейна и других, которые развили современную теорию относительности. В упомянутой первой работе Эйнштейн выставляет принцип постоянства скорости света, утверждая, что для наблюдателя на движущейся Земле измеренная скорость света должна быть постоянна, независимо от направления и скорости движения Земли. Главным физическим фундаментом теории относительности является допущение, что опыты с эфирным ветром дали определенный результат. ***Однако истолкование этого опыта для автора было неприемлемо*** (курсив мой — *В.А.*), и для разрешения вопроса были предприняты дальнейшие наблюдения.

Осенью 1905 г. Морли и Миллер перенесли интерферометр из подвального помещения лаборатории на Евклидовы высоты близ Кливленда, на высоту приблизительно 300 футов над озером Эри, в место, свободное от всяких преград и построек. Было проделано пять серий наблюдений (1905–1906 гг.), которые дали определенный положительный эффект, равный приблизительно 1/10 ожидаемого ветра. Существовало подозрение, что это могло быть вызвано влиянием температуры, однако прямых указаний на это не было. Предполагалось проверить это подозрение после летних отпусков. Но интерферометр был установлен на земле, принадлежащей нашему другу, в течение нашего отсутствия летом земля была продана, и новый владелец потребовал, чтобы интерферометр немедленно был убран.

Проф. Морли отстранился от активной работы в 1906 г., и продолжение экспериментов перешло в руки автора этих строк. Представлялось желательным, чтобы дальнейшие наблюдения были проведены на большой высоте, но многочисленные препятствия мешали продолжению работы. Опубликование результатов наблюдений солнечного затмения в 1919 г., которое было истолковано как подтверждение теории относительности, вновь пробудило интерес к опытам с эфирным ветром. Щедрый друг ассигновал достаточные материальные средства для покрытия значительных издержек, связанных с повторением опытов. Обсерватория на Маунт Вилсон вблизи Пасадены в Калифорнии на высоте 6000 футов

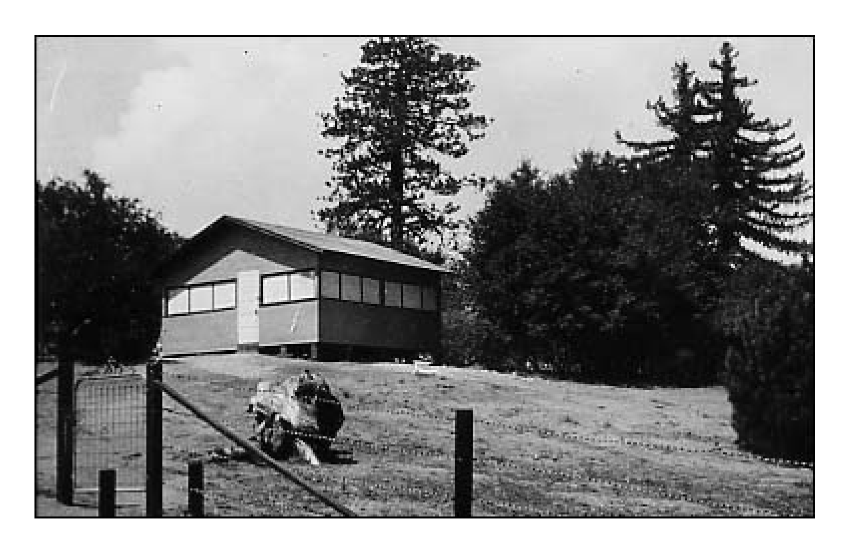
представлялась желательным местом для дальнейшей работы. Благодаря любезности м-ра Мерриама, президента Института Карнеги в Вашингтоне, и директоров обсерватории Гэля и Адамса, опыты были возобновлены автором в марте и апреле 1921 г. в обсерватории на Маунт Вилсон. Аппарат в существенном был тот же самый, какой использовался Морли и Миллером в 1904, 1905 и 1906 гг. Наблюдения также проводились в конце 1921 г. и вновь в 1924 и 1925 гг.

Всего на Маунт Вилсон было произведено около 5000 отдельных измерений эфирного ветра в различные часы дня и ночи. Эти наблюдения были сведены в 204 различных серии, причем каждая серия относилась к одному часу времени. Наблюдения были сделаны в четыре различных времени года:

- 15 апреля 1921 г. — 117 серий наблюдений;
- 8 декабря 1921 г. — 42 серии;
- 5 сентября 1924 г. — 10 серий;
- 1 апреля 1925 г. — 35 серий;

I. Самые первые наблюдения, проделанные в марте 1921 г., дали положительный эффект, соответствующий реальному эфирному ветру, как если бы он был обусловлен относительным движением Земли и эфира со скоростью около 10 км/с. Однако, прежде чем опубликовать этот результат, представлялось необходимым изучить все возможные причины, которые могли бы вызвать эффект, подобный эфирному ветру. Эти возможные причины могли бы сводиться к магнитным деформациям стальной рамы интерферометра и влияниям теплоты излучения. В целях полного устранения влияния теплоты излучения металлические части интерферометра были совершенно закрыты слоем пробки толщиной около одного дюйма. Пятьдесят серий наблюдений, сделанных при этих условиях, обнаружили периодическое смещение полос, совпадающее с прежними наблюдениями.

II. Летом 1921 г. стальная рама интерферометра была разобрана. На место ее на ртутном поплавке был установлен бетонный фундамент, укрепленный латунными стержнями. Для оптических частей были сделаны новые подставки из алюминия или латуни. Таким образом, аппарат был совершенно не подвержен магнитным влияниям, а возможные влияния нагревания значительно уменьшались.



Домик Дейтона Миллера для эфирных измерений на Маунт Вилсон, 1920-е гг. Окна, закрытые бумагой, были расположены в плоскости светового пути интерферометра. http://www.orgonelab.org/miller.htm



Этот же домик, прикрытый тентом для выравнивания температуры.

В декабре (4–11) 1921 г. было проведено около 900 отдельных наблюдений, сведенных в 42 серии. Результаты с таким немагнитным интерферометром дали положительный эффект, соответст-

вующий эфирному ветру точно той же скорости и направления, какие были получены в апреле 1921 г.

Были перепробованы многочисленные вариации условий опыта. Наблюдения проводились при вращении интерферометра по часовой стрелке и против нее, при быстром (1 оборот за 40 секунд) и при медленном вращении (1 оборот за 85 секунд), с тяжелым грузом, положенным на кронштейн трубы, а затем на кронштейн лампы, с поплавком, высоко поднятым над уровнем ртути вследствие того, что сначала нагружался один квадрант, а потом другой. Ассистент, записывающий наблюдения, ходил вокруг или же стоял в различных частях помещения, далеко от аппарата или же близко к нему. На результаты наблюдений ни одна из этих вариаций не оказывала никакого влияния.

Затем весь аппарат был перенесен обратно в Кливленд. В течение 1922 и 1923 гг. было проведено множество испытаний при разнообразных условиях, доступных контролю, и с различными видоизменениями в расположении частей аппарата. Зеркала и призмы были расположены таким образом, что источник света мог находиться вне помещения, где проводились опыты, причем свет входил во вращающийся интерферометр вдоль оси вращения. Этот метод обычно применялся во всех наблюдениях эпохи III и IV. Другое расположение зеркал, на практике оказавшееся очень сложным, позволяло наблюдать полосы неподвижным телескопом, однако необходимость частой установки полос в поле зрения делала этот метод непрактичным. Были проделаны также опыты с фотографической регистрацией положения полос с некоторого фиксированного места наблюдения, и при помощи кинематографической камеры, перемещающейся с интерферометром. Однако даже дуговая лампа в качестве источника не давала достаточно яркого освещения для получения удовлетворительных фотографий, кроме того, необходимость частой установки полос делала этот метод неподходящим. После того, как фотографический метод был оставлен, в соединении с интерферометром был смонтирован астрономический телескоп с отверстием диаметром 5 дюймов и фокусным расстоянием 75 дюймов. При увеличении в 50 диаметров полосы наблюдались в большом масштабе и при ярком освещении, так что непосредственные отсчеты глазом были весьма удовлетворительны, это расположение с тех пор употреблялось постоянно. Были испробованы также разные источники света: электрическая дуга,

лампа накаливания, ртутная лампа, ацетиленовая лампа и, наконец, солнечный свет. Замена солнечным светом лабораторных источников нисколько не влияет на результат. В конце концов, в качестве постоянного источника была выбрана ацетиленовая лампа типа автомобильных фонарей, как правило, располагавшаяся вне помещения, где находился интерферометр.

Длинная серия опытов была проделана с целью изучить влияние неравенств температуры в помещении интерферометра и влияние теплоты излучения, падающего на интерферометр. При этом использовалось несколько электрических нагревателей, устроенных таким образом, что нагревающая спираль была расположена в фокусе вогнутого зеркала. Неравенства температуры вызывали медленное, но постоянное смещение системы полос в одну сторону, но не вызывали периодического смещения. Даже тогда, когда два нагревателя были расположены на расстоянии трех футов от интерферометра, находившегося во вращении, и посылали тепло непосредственно к непокрытой стальной раме, измеримого периодического смещения полос не наблюдалось. Когда же нагреватели были обращены к путям световых лучей, закрытых стеклом, периодический эффект наблюдался, но только тогда, когда стекло было покрыто непрозрачным материалом, и притом весьма несимметричным образом, когда, например, одно плечо было совершенно защищено картоном, а другое не защищено. Эти опыты показали, что при тех условиях, при каких в действительности проводится опыт, периодическое смещение полос не может быть вызвано влиянием температуры.

Лабораторное исследование показало, что эффект «полного периода», упомянутый в предварительном сообщении о наблюдениях на Маунт Вилсон в апреле 1921 г., есть необходимый геометрический результат установки зеркал при получении полос конечной ширины. При низкой температуре, какая была на Маунт Вилсон в апреле 1921 г., необходимо было пользоваться узкими полосами, а в этом случае «эффект полного периода» относительно невелик; по мере увеличения ширины полос этот эффект уменьшается и полностью исчезает лишь при полосах бесконечной ширины, как это и предполагается в простой теории опыта.

III. После окончания описанных опытов интерферометр был вновь перенесен на Маунт Вилсон. В 1921 г. аппарат был расположен в глубоком каньоне. Я опасался, что потоки воздуха в каньоне

могут внести нарушения; равным образом несимметричное распределение горных пород вокруг представлялось нежелательным. В августе 1924 г. было выбрано новое место на слегка закругленном холме, удаленном от каньонов. Помещение для интерферометра было возведено так, чтобы его ориентировка — направление конька крыши и расположение дверей — составляло 90° с ориентировкой 1921 г. Интерферометр во всех деталях был тот же, что употреблялся в Кливленде в июле 1924 г. В сентябре (4-, 5- и 6-го) 1924 г. было проведено 275 измерений смещения полос, причем измерения были расположены в 10 сериях. Результаты наблюдений обнаружили определенное смещение, в противоположность незначительным результатам, полученным в Кливленде. Соответствующий этому смещению эфирный ветер по скорости и направлению вполне соответствовал впервые наблюдаемому на Маунт Вилсон. Часть наблюдений была проведена при таких условиях, что пути световых лучей были прикрыты стеклянными ящиками, обложенными сверху гофрированной бумагой, которая, как показали опыты в Кливленде, совершенно исключает влияние теплоты излучения. Однако эти покрышки нисколько не изменили результата, откуда следует, что таких нарушений вообще нет.

IV. Наблюдения на Маунт Вилсон были возобновлены 27 марта 1925 г. и продолжались до 9 апреля. В этот промежуток времени было сделано 1600 измерений, расположенных в 35 сериях. Интерферометр был тот же, что и в сентябре 1924 г. В течение первой половины измерений лампа была неподвижна и расположена вне помещения для интерферометра; в течение второй половины измерений лампа была расположена на покрышке интерферометра вблизи оси вращения, благодаря чему несколько упрощалась установка. Это изменение положения источника ни малейшим образом не повлияло на результат. Ассистент занимал различные положения внутри здания, переходя из одного квадранта в другой — также безо всякого влияния на результат.

В течение эпохи IV условия для наблюдения были исключительно хороши. Некоторое время стоял туман, который поддерживал температуру весьма равномерной. На внешних стеклах домика были повешены четыре точных термометра, во многих случаях вариации температуры не превышали 0,1° и обычно были меньше 0,4°. Однако даже изменение на несколько градусов, которое может вызвать постоянное смещение полос интерференции, не может из-

менить периодического смещения ни по величине, ни по направлению.

Наблюдения в апреле 1925 г. дали результаты, совершенно тождественные результатам 1921 г., несмотря на то, что интерферометр был пересмотрен, что применялась другая система освещения и иные методы наблюдения, несмотря на то, наконец, что интерферометр был установлен в другом месте и в доме, иначе ориентированном.

Результаты наблюдений, нанесенные на графики при помощи гармонического анализа (выполненного механическим анализатором), непосредственно давали азимут и скорость эфирного ветра. Никаких поправок в наблюдаемые величины не вносилось; до сих пор все отсчеты (скоростей и азимута — *В.А.*) эфирного ветра, сделанные на Маунт Вилсон, включались своими полными значениями. Ни одно наблюдение не было опущено, если бы даже оно показалось неудовлетворительным, и никаких «весовых коэффициентов» наблюдениям не приписывалось, так как не делалось никаких допущений относительно ожидаемого результата. Можно еще добавить, что в то время как делались отсчеты, ни наблюдатель, ни тот, кто записывал отсчеты, не могли составить себе ни малейшего понятия о том, существует ли периодичность, ни, тем более, о направлении или величине этой периодичности.

Если эти наблюдения верны, то они должны давать определенные указания на движение всей Солнечной системы в пространстве, комбинированное с орбитальным движением Земли и суточным вращением ее около оси. Должно существовать особое отношение для данной широты между наблюдаемым азимутом эфирного ветра и сидерическим временем наблюдения. Наблюдения в различные сидерические времена должны давать различные азимуты, и наблюдения в одно и то же сидерическое время должны давать один и тот же азимут для данного периода времени. Предварительное графическое изучение наблюдений показывает, что эти условия выполняются.

Едва ли нужно говорить о том, что определение абсолютного движения Солнечной системы из таких интерферометрических наблюдений в высшей степени сложно. Проф. Нассау и д-р Штромберг оказали весьма существенную помощь при математическом анализе и развили решения различных частей проблемы, а также полное решение общей проблемы по методу наименьших квадра-

тов. Окончательные числовые расчеты требуют нескольких месяцев непрерывной работы и в настоящее время выполняются.

Описанные опыты, выполненные на Маунт Вилсон в течение четырех последних лет — 1921–1925 гг., приводят к заключению, что существует определенное смещение интерференционных полос, какое было бы вызвано относительным движением Земли и эфира на этой обсерватории со скоростью приблизительно 10 км/с, т.е. около одной трети орбитальной скорости Земли. При сравнении этого результата с прежними результатами, полученными в Кливленде, напрашивается мысль о частичном увлечении эфира, которое уменьшается с высотой. Думается, что пересмотр кливлендских наблюдений с этой точки зрения должен показать, что они находятся в согласии с подобным предположением и привести к заключению, что опыт Майкельсона–Морли не должен давать нулевого значения в точном смысле слова и, во всей вероятности, никогда такого результата не давал.

Полная обработка результатов опытов, которая будет закончена в ближайшем будущем, должна дать определенные указания относительно абсолютного движения Солнечной системы в пространстве.

Успехи физических наук. 1925. Т.5. С.177–185.;
Science, Proceedings of the National Academy of Sciences of U.S.A. 11 p. 1925

А.К.Тимирязев. Предисловие к статье Миллера (1926)

А. К. Тимирязев. Под знаменем марксизма, 1926 г. 11. с. 91-109.

В 7-8 «Под Знаменем Марксизма» за 1925 г. была напечатана статья Дейтона Миллера*, в которой он сообщил о результатах своих замечательных опытов, в корне подрывающих второй постулат теории относительности Эйнштейна.

Как и следовало ожидать, это первое известие было принято весьма сдержанно; общее мнение составилось приблизительно в следующих выражениях: опыты в высшей мере интересные и важ-

* Орфография здесь и далее исправлена на современную. — *Прим. ред.*

ные по своему значению, но... надо подождать дальнейших подтверждений. Через полгода эти подтверждения пришли. За одну только вторую половину 1925 года Д.Миллер сделал 100.000 измерений, которые целиком и полностью подтвердили его прежние выводы!

Печатаемая в настоящей книжке нашего журнала статья представляет собой доклад, прочитанный на съезде Американской ассоциации содействия науке 29 декабря 1925 года (появилась в печати 30 апреля 1926 года). За этот доклад Д.Миллеру была присуждена премия ассоциации, выдаваемая ежегодно за наиболее выдающуюся работу, доложенную на съезде. В истекшем году конкурс был особенно велик: была представлена ровно тысяча исследований!

История опыта Майкельсона–Морли, с успехом повторенного Д.Миллером и изложенная в докладе, печатаемом в настоящей книжке нашего журнала, крайне поучительна в методологическом отношении.

Во всех исследованиях, какие только производились до 1925 г. (в том числе и первые серии опытов Д.Миллера), авторы исходили из двух следующих предположений. Движение земли по отношению к эфиру, если оно существует, слагается только из трех суточное вращение, годичное движение вокруг солнца (скорость 30 километров в секунду) и общее движение солнечной системы к созвездию Геркулеса (со скоростью около 20 километров в секунду). Второе предположение заключалось в том, что относительная скорость земли по отношению к эфиру, согласно существующим теориям, должна определенным образом влиять на скорость света. Как теперь выяснилось, влияние движения земли было констатировано во всех прежних опытах, включая и знаменитые опыты Майкельсона–Морли! Но, во-первых, направление движения не совпадало с направлением движения земли по ее орбите + движение солнечной системы к созвездию Геркулеса и, во-вторых, величина влияния движения на скорость света раз в 20 или 30 меньше, чем это можно было предвидеть на основании теории Лорентца. Так как опыт дал не тот ответ, которого ожидали, то был сделан вывод, что движение земли вовсе не отражается на величине скорости света! И этот неверный вывод Эйнштейн признал за второй постулат своей теории.

В небольшой заметке, напечатанной в «Nature» от 26 июня 1926 года, Д.Миллер в следующих выражениях изображает это историческое заблуждение, послужившее основой столь нашумевшей теории.

«Проф. Эйнштейн сделал гипотезу, что движение наблюдателя не производит никакого эффекта на скорость света. Эта гипотеза передается в сотнях книг в качестве правильного толкования опытов. Она была принята, по-видимому, без тщательного изучения подлинников, в которых излагаются результаты экспериментальных работ».

В чем же, однако, решение загадки?

Прежде всего не только вся солнечная система, но и вся звездная система млечного пути несется с громадной скоростью около 200 300 километров в секунду по направлению к созвездию Дракона (+65 склонение 262 прямое восхождение). Эта скорость дает то смещение полос интерференции, которое наблюдал Дейтон Миллер и которое было замечено и в предыдущих опытах Майкельсона–Морли и более поздних опытах Морли и Д.Миллера.

Кроме того, эта скорость отражается в значительно меньшей степени, чем это можно было ожидать по теории Лорентца. Если рассчитывать по этой теории наблюдения Д.Миллера, то вместо скорости 200 300 километров в секунду, мы получим всего 10 километров в секунду. Раз такая большая скорость, как несколько сот километров в секунду, вызывает эффект, соответствующий 10 километрам в секунду, то ясно, что скорость движения земли по ее орбите (эта скорость равна 30 километрам в секунду) дает в 10 раз сильнейший эффект, который при существующем уровне экспериментальной техники ускользает от нас. Отчего теория Лорентца не согласуется с этими фактами, отчего влияние движения меньше, чем предсказывала эта теория вопрос пока не решенный. Во всяком случае, нам основательно придется перестроить оптику движущихся систем.

Но отчего у Д.Миллера получался в опытах на горе Вилсон результат в 10 километров в секунду (если рассчитать по теории Лорентца), а в прежних опытах, как его самого, так и Майкельсона, получался эффект, эквивалентный 3 километрам в секунду? Дело заключается в следующем. Смещение полос интерференции вызывается только той слагающей скорости, которая параллельна плоскости прибора. Так как открытая Миллером громадная скорость,

которая, во всяком случае, больше двухсот километров в секунду, направлена к созвездию Дракона и так как в Кливленде, где производились опыты Майкельсона и Морли, созвездие Дракона всегда высоко над горизонтом, то слагающая этой скорости, паралелльная плоскости горизонтально стоящего прибора, значительно меньше, чем для обсерватории горы Вилсон, где созвездие Дракона всегда ближе к горизонту. Таким образом, широта места, а не высота над уровнем моря обеспечила успех опытов Миллера. А, кроме того, прежние измерения производились два раза в день в те часы, когда ожидалось наибольшее влияние скорости движения земли по орбите, а это не совпадает с моментами, когда всего сильнее сказывается влияние открытого Д.Миллером космического движения.

В критических статьях, печатаемых до сих пор в ряде научных журналов, все еще приписывают Миллеру утверждение, что изучаемый им эффект может наблюдаться только на возвышенностях и что он должен равняться нулю на уровне моря. Это недоразумение можно приписать только тому, что статью Миллера недостаточно внимательно читают. Крайне любопытно, что результаты Миллера подтвердились астрономическими наблюдениями. Оказывается, что звездные скопления, представляющие такие же звездные системы, как наша система млечного пути, движутся по отношению к земле со скоростями, соответствующими и по величине и по направлению той, которая была установлена Д.Миллером.

Приведенная в статье Д.Миллера страничка из истории физики крайне поучительна. Очень плохо, когда экспериментатор, игнорируя теорию, превращается в «ползучего эмпирика». Но плохо также, когда игнорируют факты, противоречащие установившимся теориям. Знаменитый биолог Клод Бернар говорил своим ученикам: *«не бойтесь противоречивых фактов: каждое противоречие есть залог нового открытия»*. Это мудрое правило, которым должен руководиться каждый исследователь–диалектик, было основательно забыто истолкователями знаменитого опыта Майкельсона–Морли.

10. Д.К.Миллер. Значение экспериментов по обнаружению эфирного ветра в 1925 г. на горе Маунт Вилсон

(Речь Президента американского физического общества, прочитанная в Канзас-Сити 29 декабря 1925 г.) [22]

Significance of the ether-drift experiments of 1925 at Mount Wilson. Dayton C.Miller



Общее положение теории о том, что свет является волновым движением в светопередающем эфире, приводит к необходимости определения основных свойств эфира, которые должны обеспечивать распространение волн света и объяснять другие оптические явления. Вначале предполагалось, что эфир заполняет все пространство, даже то, которое занято телами, и что он допускает движение всех тел сквозь него практически совершенно свободно. Вопрос о том, увлекается ли эфир движением Земли, обсуждался, начиная с первых дней волновой теории. Теория эфира тесно связана с теориями структуры материи, и это находится в числе наиболее фундаментальных основ физической науки.

Открытие аберрации света в 1728 г. ранее объяснялось через принятую тогда корпускулярную теорию света. Эффект приписывался простому сложению скорости света со скоростью орбитального движения Земли. Другое объяснение, основанное на волновой теории, казалось столь же простым, как и первое, но оно оказалось не соответствующим обнаруженному позднее экспериментальному факту, заключающемуся в том, что аберрация не изменялась, если наблюдения производились телескопом, заполненным водой.

---

[22] Address of the president of the American Physical Society, read at Kansas City, December 29, 1925. Миллер был секретарем, вице-президентом и (с 1925 г.) президентом этого общества – *Прим. ред.*

Френель предложил теорию, в которой предполагалось, что, во-первых, эфир неподвижен в пустом пространстве и в непрозрачных телах, а, во-вторых, внутри движущихся прозрачных тел он движется со скоростью, в $\frac{n^2-1}{n^2}$ раз меньшей, чем скорость движения тела (n — показатель преломления). Эти две гипотезы давали полное и удовлетворительное объяснение аберрации; вторую предполагалось проверить опытами Физо и Майкельсона–Морли по скорости света в движущихся средах; первая гипотеза о том, что эфир покоится в пространстве и в непрозрачных телах, всегда вызывала сомнение.

Некоторые физики пытались подтвердить существование стационарного эфира прямыми экспериментами. Наиболее фундаментальная из этих попыток была сделана профессором А. А. Майкельсоном в 1881 г., она основана на идее, что эфир в целом неподвижен и что волны света распространяются в любом направлении с той же самой скоростью благодаря эфиру. Предполагалось также, что Земля в своем орбитальном движении вокруг Солнца проходит свободно через этот эфир, как если бы он был абсолютно стационарным в пространстве. Эксперимент ориентировался на обнаружение относительного движения между Землей и эфиром, это относительное движение часто рассматривалось как «эфирный ветер». Эксперимент основывался на том, что кажущаяся скорость света будет различной в зависимости от того, движется ли наблюдатель вместе с Землей вдоль луча света или перпендикулярно к нему. Скорость света равна 300000 км/с, а скорость Земли на ее орбите составляет 1/10000 часть этого, то есть 30 км/с. Истинное движение Земли есть сумма орбитального движения, изменяющегося по направлению и имеющего скорость 30 км/с, и равномерного движения Солнца вместе со всей Солнечной системой в неизвестном направлении и с неизвестной скоростью. Поэтому истинное движение Земли относительно эфира остается неизвестным, оно может быть как меньше 30 км/с, так и гораздо больше.

Если допустить, что относительное движение Земли равно ее движению по орбите, и если бы оказалось возможным измерить прямое влияние этого движения на *кажущуюся* скорость света, то тогда скорость света, измеренная вдоль направления движения, должна отличаться от кажущейся скорости, измеренной под пря-

мым углом к этой линии, на 30 км/с или на 1/10.000. Это и есть то, что называлось «эффектом первого порядка», но, к несчастью, нет метода для измерения скоростей в столь простых условиях.

SCIENCE

VOL. LXIII APRIL 30, 1926 No. 1635

CONTENTS

Significance of the Ether-Drift Experiments of 1925 at Mount Wilson: PROFESSOR DAYTON C. MILLER ... 433
Existing Practices of Polluting Public Water Courses: DR. GEORGE WILTON FIELD ... 443
Awards of the John Simon Guggenheim Memorial Fellowships ... 446
Scientific Events:
The Oceanographic Station at Salammbo, North Africa; The Rawson MacMillan Sub-Arctic Expedition of the Field Museum; The First Meeting of the Eastern Section of the Seismological Society; Tribute to Professor Charles Schuchert ... 448
Scientific Notes and News ... 450
University and Educational Notes ... 454
Discussion and Correspondence:
The Habits of the Grunion: DR. DAVID STARR JORDAN. *Adsorption Mechanisms:* MAURICE L. HUGGINS and JOHN FIELD, 2ND. *Who discovered Vitamines?* DR. CASIMIR FUNK. *Citations of Scientific Literature:* PROFESSOR EDWIN G. BORING, E. W. GIFFORD. *Railroad Passes for Scientific Work:* DR. HERBERT W. ROGERS ... 454
Scientific Books:
Bonne and Bonne-Wepster's Mosquitoes of Surinam: DR. L. O. HOWARD and DR. HARRISON G. DYAR ... 457
Scientific Apparatus and Laboratory Methods:
A Simple Method for Observation of the Living Chick Embryo: T. C. BYERLY ... 458
Special Articles:
The Origin of Vacuoles: PROFESSOR F. E. LLOYD and G. W. SCARTH. *The Transfer of Excited Energy from Ozone to Hydrogen and Nitrogen:* A. C. GRUBB ... 459
Science News ... x

SCIENCE: A Weekly Journal devoted to the Advancement of Science, edited by J. McKeen Cattell and published every Friday by

THE SCIENCE PRESS

Lancaster, Pa. Garrison, N. Y.

New York City: Grand Central Terminal.

Annual Subscription, $6.00. Single Copies, 15 Cts.

SCIENCE is the official organ of the American Association for the Advancement of Science. Information regarding membership in the Association may be secured from the office of the permanent secretary, in the Smithsonian Institution Building, Washington, D. C.

Entered as second-class matter July 18, 1923, at the Post Office at Lancaster, Pa., under the Act of March 8, 1879.

SIGNIFICANCE OF THE ETHER-DRIFT EXPERIMENTS OF 1925 AT MOUNT WILSON[1]

THE general acceptance of the theory that light consists of wave motion in a luminiferous ether made it necessary to determine the essential properties of the ether which will enable it to transmit the waves of light and to account for optical phenomena in general. The ether was at first presumed to fill all space, even that occupied by material bodies, and yet to allow all bodies to move through it with apparent perfect freedom. The question of whether the ether is carried along by the earth's motion has been considered from the early days of the wave theory. Theories of the ether are intimately associated with theories of the structure of matter, and these are among the most fundamental in the whole domain of physical science.

The discovery of the aberration of light, in 1728, was soon followed by an explanation according to the then accepted corpuscular theory of light. The effect was attributed to a simple composition of the velocity of light with the velocity of the earth in its orbit. A second explanation was proposed, based on the wave theory, which seemed almost as simple as the former, but it failed to account for the fact, later proved by experiment, that the aberration is unchanged when observations are made with a telescope filled with water. Fresnel developed the theory which has been generally accepted, first, that the ether is at rest in free space and in opaque bodies, while, second, in the interior of moving transparent bodies it is supposed to move with a velocity less than the velocity of the body in the ratio $\frac{n^2-1}{n^2}$, where n is the index of refraction. These two hypotheses give a complete and satisfactory explanation of aberration; the second is considered to have been proved by the experiments of Fizeau and of Michelson and Morley on the velocity of light in moving media; the first hypothesis, that of an ether at rest in space and in opaque bodies, has always been in doubt.

Several physicists have sought to prove the existence of the stationary ether by direct experiment. The most fundamental of such proposals was that of Professor A. A. Michelson, made in 1881, based upon the idea that the ether as a whole is at rest and that light waves are propagated in the free ether in any direction and always with the same velocity with re-

[1] Address of the president of the American Physical Society, read at Kansas City, December 29, 1925.

Страница журнала Science за 30 апреля 1926 года с публикацией Д.Миллера.

Все методы требуют, чтобы свет распространялся до отдаленной точки и вернулся обратно в точку излучения и при этом положительное воздействие движения Земли на луч, направленный вперед, оказывается нейтрализованным негативным эффектом в возвращающемся луче. Однако показано, что для движущегося наблюдателя эта компенсация оказывается не абсолютно полной: кажущаяся скорость луча, уходящего и возвращающегося вдоль направления движения Земли, будет отличаться от кажущейся скорости луча, уходящего и возвращающегося в перпендикулярном направлении, на величину, пропорциональную квадрату отношения скорости Земли к скорости света, то есть на $(1/10.000)^2$ или 1/100.000.000. Таким образом, единственный эффект, который может быть экспериментально обнаружен, есть ничтожный «эффект второго порядка».

Замечательный инструмент, известный как «интерферометр», изобретенный профессором Майкельсоном, способен обнаружить это малое изменение скорости света, связанное с эфирным ветром. В этом эксперименте луч света расщепляется на два луча с помощью тонкой пленки серебра, которую называют «полупрозрачным зеркалом», серебряное покрытие достаточно тонкое и позволяет половине светового потока пройти через нее, в то время как другая половина отражается как обычно.

Эти два луча могут быть направлены во взаимно перпендикулярных направлениях. На конце требуемого пути каждый луч отражается с помощью зеркал, так что оба луча возвращаются обратно и соединяются там, где они были расщеплены. Если оба отрезка пути оптически равны, то есть если количество волн в обоих путях одинаково, то соединившиеся лучи наложатся при совпадении фаз обеих волн. Если же, напротив, один из путей будет на половину волны длиннее другого, то волны соединяются в противофазе, так что «гребень» одной волны совпадает с «впадиной» другой. Эти и другие фазовые соотношения создают эффект, называемый «интерференционными полосами», наблюдение которых позволяет определить самые ничтожные изменения скорости света для двух путей.

В 1887 году в Кейсовской школе прикладных наук[**] в Кливленде проф. Майкельсон в содружестве с ныне покойным проф. Эдвардом В.Морли из Западного резервного университета[*] проделал некоторые важные усовершенствования метода и приборов и использовал интерферометр для знаменитого теперь «эксперимента Майкельсона – Морли» с целью определить, оказывает ли движение Земли в пространстве влияние на скорость света, предсказанный теорией. К несчастью мы не знаем, в каком абсолютном направлении движется Земля, и, следовательно, невозможно ориентировать интерферометр в этом направлении. Поэтому весь аппарат был смонтирован на основании, плавающем в ртути так, чтобы он мог быть повернут в горизонтальной плоскости на любой азимут, для определения направления ветра. Вращение Земли вокруг своей оси приводило к движению плоскости интерферометра так, как если бы эта плоскость была касательной к поверхности конуса

[**] Case School of Applied Science. *Прим. ред.*
[*] Western Reserve University. *Прим. ред.*

вращения, ось которого совпадает с осью вращения Земли, что создавало различные ориентации плоскости интерферометра в пространстве. Это только та составляющая фактического ветра, лежащая в плоскости интерферометра на момент наблюдения. Поэтому кажущиеся азимут и величина эфирного ветра должны меняться в зависимости от времени наблюдения.

Значение экспериментов 1925 г. по обнаружению эфирного ветра может быть оценено только в свете интерпретации, данной прежним экспериментам. Поэтому необходимо сделать исторический обзор этих экспериментов.

В июле 1887 г. Майкельсон и Морли сделали шесть серий экспериментальных наблюдений эфирного ветра — в полдень и в 6 часов вечера в дни 8, 9 и 11 июля. Это и есть все наблюдения, сделанные Майкельсоном и Морли. В ноябре 1887 года они опубликовали следующее заключение:

«…с учетом только движения Земли по орбите… наблюдения показали, что относительное движение Земли и эфира, вероятно, меньше, чем 1/6 орбитальной скорости Земли, и наверняка меньше, чем 1/4.»[23]

Это значит, меньше, чем 7,5 км/с. Следует подчеркнуть, что эксперименты были поставлены и проведены только для того, чтобы определить влияние орбитального движения Земли; это влияние должно быть различным для двух времен дня, выбранных для наблюдения, минимальное количество, которое могло быть уверенно измерено, составляло 1/4 ожидаемого эффекта.

В 1895 г. Лоренц и Фицжеральд предположили, что движения, связанные с перемещением твердого тела сквозь эфир, могут приводить к сокращению их размеров в направлении движения и увеличению размеров в перпендикулярном направлении; изменения пропорциональны квадрату отношения скорости перемещения и света, так что они «обнуляют» эффект эфирного ветра в интерферометре Майкельсона–Морли. Оптические размеры инструмента определялись физическими свойствами основы из песчаника, на которой были закреплены зеркала. Если бы сокращения размеров зависели от физических свойств твердого тела, то можно было бы

[23] Michelson and Morley. Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether.// Am. Jl. of Sci. 34, 333 (1887); Phil. Mag. 24, 449 (1887); Jl de Phys., 7, 444 (1888).

предполагать, что сосновая балка испытает большее сокращение, чем песчаник, а сталь сократится в меньшей степени.

Если сокращение «обнуляет» эффект в одном аппарате, то в другом будет возникать эффект, отличающийся от нуля и, возможно, имеющий другой знак.

Автор в сотрудничестве с профессором Морли сконструировал интерферометр, в четыре раза более чувствительный, чем тот, который был использован в первом эксперименте; он имел длину светового пути 214 футов, что равно примерно 130.000.000 длин волн. В этом инструменте относительная скорость Земли и эфира, равная скорости орбитального движения Земли, должна индицироваться смещением интерференционной картинки на 1,1 интерференционной полосы. Это – размеры инструмента, который использовался до настоящего времени. Оптические пути были полностью обновлены, и от первого аппарата не было использовано ничего, кроме ртутной ванны и деревянного поплавка.

Такой инструмент с базой из сосновых досок использовался в Кливленде в 1902, 1903 и 1904 гг. в целях прямой проверки эффекта Лоренца – Фицжеральда, но изменения в деревянной раме от изменений влажности и температуры делали получение точных наблюдений затруднительным. Профессором Ф. Г. Неффом из отделения Гражданского инженерного строительства Школы прикладных наук Кейса была разработана новая рама. Цель разработки заключалась в обеспечении симметрии и жесткости. Эта рама, являющаяся базой, была выполнена из конструкционной стали и имела такую конструкцию, что оптический размер мог зависеть и от деревянного стержня, и от стальной рамы как таковой. Наблюдения с использованием этого инструмента проводились в 1904 г. Программа опыта ориентировалась на ожидание эффекта от комбинаций суточного и годового движения Земли вместе с движением Солнечной системы в целом в направлении созвездия Геркулеса со скоростью 17,7 км/с. В выбранные для наблюдения дни было два периода, когда результирующая скорость находилась в плоскости интерферометра, — около 11 ч 30 мин до полудня и около 21 ч 00 мин после полудня. Рассчитанные азимуты движения были различными для этих двух периодов. Поэтому наблюдения в эти периоды строились так, чтобы ожидаемый азимут утреннего наблюдения совпадал с вечерним. Наблюдения для обоих периодов давали положительные результаты по величине, но с приблизительно проти-

воположными фазами. * Когда эти результаты совмещались, итог был близок к нулю. Поэтому полученный результат противоречил прежним теориям, предсказывавшим эфирный ветер. Однако в соответствии с идеями, которые будут изложены далее в этом докладе, теперь кажется, что наложение двух групп наблюдений с различными фазами базировалась на ошибочной гипотезе и что полученный тогда положительный результат оказывается в согласии с новой гипотезой движения Солнца. Наш отчет об этом эксперименте, опубликованный в «*Philosophical Magazine*» за май 1905 г. заканчивался следующим утверждением:

«*Можно предположить, что эфир в подвальном помещении перемещается вместе с ним. Поэтому мы собираемся разместить аппарат на возвышенности и посмотреть, нельзя ли обнаружить эффект там*»[24].

Осенью 1905 г. Морли и Миллер переместили интерферометр из подвала лаборатории на участок на Евклидовых высотах** в Кливленде, расположенный на высоте 300 футов над уровнем озера Эри и 870 футов над уровнем моря. На этом участке помехи от зданий не сказывались на показаниях прибора. В 1905 — 1906 гг. было проведено пять групп наблюдений, которые дали определенно положительный результат, составляющий около 1/10 ожидаемого тогда «эфирного ветра». Возникали подозрения, что это вызывалось температурными эффектами, хотя прямых свидетельств тому не было. Планировалось проверить это предположение после летних каникул. Мы установили интерферометр на земле, принадлежащей нашему другу. Но за время нашего отсутствия во время каникул земля была продана, и новый владелец потребовал немедленно убрать интерферометр. Проф. Морли отошел от активной деятельности в 1906 г., и это возложило на меня обязанности по продолжению экспериментов. Следующие эксперименты хотелось провести на значительно большей высоте, но возобновлению наблюдений препятствовали многочисленные причины.

---

* !!! *Прим. ред.*

[24] Morley and Miller. An Experiment to delect the Fitz-Gerald-Lorentz Effect.// Phil. Mag. 1905. Vol. 9. P. 680: On the Theory of Experiments to detect Abberrations of the Second Degree. // Phil. Mag. 1905. Vol. 9. P. 669.

** Euclid Heights



Обсерватория Маунт Вилсон, вид с воздуха, фото: Eric Simison. http://www.mtwilson.edu/

Эйнштейн заинтересовался этой темой в это же время, и в ноябре 1905 г. он опубликовал статью «Электродинамика движущихся тел» [25]. Эта статья была первой из длинного ряда статей и научных трудов Эйнштейна и других авторов, которые развились в современную теорию относительности. В этой статье Эйнштейн ввел принцип постоянства скорости света, постулировав, что для наблюдателя, находящегося на движущейся Земле, измеренная скорость света должна быть неизменной, не зависящей от направления и скорости движения Земли. Вся теория была отнесена к физическим явлениям и в наибольшей степени – к предположению, что опыты Майкельсона, Морли и Миллера по обнаружению эфирного ветра дают определенный и точно нулевой результат.

Предсказанное теорией относительности отклонение света звезд Солнцем было проверено во время солнечного затмения в 1919 г. Было широко признано, что результаты подтверждают теорию. Это возобновило интерес автора к экспериментам по эфирно-

[25] Einstein. Zur electrodynamik bewegter Körper, *Ann. der Physik,* 17, 891 (1905).

му ветру, интерпретация результатов которого никогда не была приемлемой для него.

Для дальнейших исследований подходящим местом оказалась обсерватория Маунт Вилсон вблизи Пассадены, Калифорния, на высоте около 6000 футов. Была тщательно подготовлена программа эксперимента и найдены фонды, вполне достаточные для того, чтобы покрыть весьма значительную стоимость выполнения программы; фонды были очень любезно предоставлены мистером Экштейном Кейсом из Кливленда. Президент и попечитель Кейсовской Школы прикладных наук оказал всю возможную помощь, разрешив автору отсутствовать столько времени, сколько нужно для проведения экспериментов и выделив ассистента для выполнения очень объемной работы по вычислениям и обработке наблюдений. Благодаря любезности президента Мерриама из Института Карнеги в Вашингтоне и директоров Хейла и Адамса эксперименты по эфирному ветру могли проводиться в обсерватории Маунт Вилсон в течение прошедших пяти лет.

Наблюдения начались в марте 1921 г. с использованием аппаратуры и методики, разработанной Морли и Миллером в 1904, 1905 и 1906 гг. с некоторыми модификациями и улучшениями в деталях. Самые первые опыты дали положительный эффект, который мог быть произведен истинным эфирным ветром, соответствующим относительной скорости эфира и Земли, равной 10 км/с. Но прежде, чем сообщить о таком результате, надо было изучить все возможные причины, которые могли дать смещение интерференционных полос, эквивалентное тому, которое должен был создать эфирный ветер. Среди причин предполагались магнитострикция и тепловое излучение. Чтобы проверить последнее предположение, металлические части интерферометра были полностью покрыты слоем пробки толщиной 1 дюйм, после чего было проведено 50 групп наблюдений, показавших, что периодическое смещение полос осталось таким же, как и в первых наблюдениях. Это показало, что тепловое излучение не является причиной наблюдаемого эффекта.

Летом 1921 г. стальная рама интерферометра была демонтирована и вместо нее стали использовать монолитную базу из цемента с латунной арматурой. База была размещена в ртутной ванне. Все металлические части были сделаны из алюминия или латуни, так что весь аппарат был освобожден от магнитных эффектов, а воз-

можные тепловые эффекты были существенно уменьшены. В декабре 1921 г. были проведены 42 группы наблюдений с немагнитным интерферометром. Они дали положительный эффект, причем эфирный ветер полностью соответствовал наблюдениям апреля 1921 г. В этот период были проверены многочисленные вариации случайных воздействий. Наблюдения проводились при вращении интерферометра по часовой стрелке и против ее, как при быстром, так и при очень медленном вращении, при чрезвычайной разбалансировке интерферометра, создаваемой нагружением поплавка на одной стороне. Было испробовано множество вариантов процедур наблюдений и регистрации. Результаты наблюдений не зависели от этих изменений [26].

Аппарат был возвращен в лабораторию в Кливленд. В течение 1922 и 1923 гг. было проведено множество испытаний при различных условиях, которые можно было контролировать, и со многими модификациями частей аппарата. Расположение призм и зеркал было сделано таким, чтобы источник света мог быть размещен вне помещения, в котором проводились наблюдения, а последующее усовершенствование зеркал было выполнено так, чтобы можно было наблюдать интерференционные полосы с помощью стационарного телескопа. Были испробованы методы кинематографической регистрации. Применялись различные источники света, в том числе электрическая дуга и солнечный свет. В конце концов, устройство было усовершенствовано так, что наблюдения могли проводиться с помощью астрономического телескопа с пятидюймовой апертурой и 50-кратным увеличением. В качестве источника света использовалась большая ацетиленовая лампа, обычно применяемая в автомобильных фарах. Была проведена обширная серия экспериментов для обнаружения влияния температурных неоднородностей или нагрева тепловым излучением, опробованы многие различные теплоизолирующие материалы для базы интерферометра и его световых путей. Эти эксперименты подтвердили, что в условиях реальных наблюдений периодическое смещение интерференционных полос не могло быть вызвано температурными эффектами. Расширенные лабораторные эксперименты показали, что полнопериодический эффект, упоминавшийся в предварительном сообщении о

[26] Miller. Ether-drift Experiments at Mount Wilson Observatory. *Phys. Rev.* 19, 407 (1922) *Science* 55, 496 (1922).

наблюдениях в Маунт-Вилсоновской обсерватории, является непременным геометрическим следствием такого расположения зеркал, при котором используются интерференционные полосы конечной ширины, и что эффект исчезает только для полос бесконечной ширины, как это и предполагалось в простой теории эксперимента.

В июле 1924 г. интерферометр снова был доставлен на Маунт Вилсон и смонтирован на новой площадке, где температурные условия были лучше, чем в экспериментах 1921 г. Дом, в котором находился интерферометр, также был установлен с иной ориентацией. Снова наблюдения показали реальное периодическое смещение интерференционных полос, такое же, как и в наблюдениях, сделанных ранее на Маунт Вилсон и в Кливленде.

Несмотря на продолжительные усилия, оказалось невозможным считать эти эффекты эффектами земного происхождения или следствием погрешности эксперимента. Были проведены весьма обширные вычисления с целью попытаться согласовать наблюдаемый эффект с имеющимися теориями эфира и с предполагаемым движением Земли. Наблюдения повторялись в различные времена года с тем, чтобы проверить одну за другой выдвигаемые гипотезы. В конце 1924 г., когда решение казалось уже невозможным, был впервые сделан полный расчет ожидаемого эффекта для каждого месяца года. Расчет показал, что смещение полос должно быть максимальным в апреле и что направление эффекта должно, на протяжении 24 часов в сутки, оборачиваться полностью вокруг горизонта. В марте и апреле 1925 г. были проведены наблюдения с целью подтвердить эти предположения. Полученное смещение полос было по величине равно наибольшему из ранее наблюдавшихся, но оно не было ориентировано последовательно по всем направлениям компаса, то есть оно не изменяло направления по азимуту на 90° на интервалах по 6 ч и не изменяло ориентацию на противоположную на интервалах в 12 ч (как предполагалось – *В.А.*). Вместо этого направление лишь колебалось вперед и назад на угол примерно в 60°, имея, в общем, северо-западное направление.

До 1925 г. эксперимент Майкельсона–Морли всегда был направлен на проверку конкретной гипотезы. Единственная теория эфира, которая подвергалась проверке, была связана с абсолютно неподвижным, стационарным эфиром, сквозь который Земля дви-

галась, не возмущая его. По отношению к этой гипотезе эксперимент дал отрицательный ответ. Эксперимент был направлен на проверку только вполне специфического предположения о характере движения Земли: осевого и орбитального движения вместе с движением Солнечной системы по направлениям к созвездию Геркулеса со скоростью около 19 км/с. Результаты эксперимента не совпали с этим предполагаемым движением. Эксперимент был также ориентирован на проверку гипотезы Лоренца – Фицжеральда о сокращении размеров тел при движении сквозь эфир, проверялись также магнитострикционные, вследствие теплового излучения и гравитационные деформации рамы интерферометра. На протяжении всех этих наблюдений, занимавших годы, ответ на различные вопросы всегда был «нет», но в то же время всегда сохранялся постоянный и устойчивый малый эффект, который не был объяснен.

Эфирно–ветровой интерферометр — это инструмент, который, как общепризнано, предназначен для определения относительного движения Земли и эфира, то есть он способен показать направление и скорость абсолютного движения Земли и Солнечной системы в пространстве. Если наблюдения проводились для определения такого абсолютного движения, чем же является результат, не зависящий от «ожидаемого» эффекта? Для ответа на этот главный вопрос было решено провести расширенные наблюдения в другие периоды времени 1925 г., и это было сделано в июле, августе и сентябре.

Можно спросить, почему это не было сделано раньше? Ответом является, в частности, то, что мы были озабочены проверкой определенных предсказаний так называемой классической теории, и отчасти то, что нелегко создать новую гипотезу, хотя бы простейшую, в отсутствие прямых наблюдений. Возможно, что существенной причиной этого недостатка была трудность осуществления наблюдений во все время суток и в любой из сезонов. С моей стороны не слишком самоуверенно считать, что во всех научных работах, в которых я участвовал, наблюдения эфирного ветра наиболее утомительны и изнуряющи, из-за физического, умственного и нервного напряжения. Простая настройка интерферометра на интерференционные полосы в белом свете и поддержание этой настройки, когда путь света равен 214 футам (65 м) и состоит из 16 различных участков и когда это осуществляется на открытом воз-

духе, требует терпения, крепких нервов и твердой руки. Профессор Морли однажды сказал:

«Терпеливость — это качество, без которого нельзя приступать к наблюдениям этого типа».

Наблюдения должны проводиться в темноте: в дневное время помещение, в котором находился интерферометр, затемнялось черной бумагой; наблюдения должны проводиться при точном совпадении температуры в помещении и снаружи; наблюдатели должны ходить по кругу диаметром 20 футов (6 м), держа глаза у движущегося объектива телескопа, прикрепленного к интерферометру, который плавает в ртутной ванне и равномерно вращается с частотой около одного оборота в минуту; наблюдатель ни в коем случае не должен прикасаться к телескопу и в то же время не должен терять из виду интерференционные полосы, которые видны только через малое отверстие объектива телескопа, примерно 1/4 дюйма (около 6,5 мм) в диаметре; наблюдатель делает 16 отсчетов положения интерференционных полос за каждый оборот в моменты, отмечаемые электрическими щелчками, эта операция должна продолжаться без перерыва в течение 15–20 минут и повторяться многократно за несколько часов работы.

Когда проводятся наблюдения, интерферометр с укрепленным на нем телескопом вращается на ртутной ванне, так что телескоп направляется поочередно на все деления компаса, то есть на все азимуты. Относительное движение Земли и эфира должно вызывать периодическое смещение интерференционных полос: они сначала должны сместиться в одну сторону, а затем – в противоположную по отношению к некоторой средней точке в поле зрения, с двумя полными периодами за каждый оборот инструмента. Положения линий отмечались в 16 равноудаленных друг от друга точках, начиная с направления на север. Азимут линии зрения, при котором смещение максимально, отмечался в два различных периода времени дня, что позволяет наиболее просто вычислить истинное восхождение и склонение, или «апекс» предполагаемого «абсолютного» движения Земли в пространстве. Определение направления движения связано с направлением ориентации телескопа, когда смещение интерференционных полос максимально; оно ни в какой степени не зависит от величины смещения или согласования полос с какой-либо частной «нулевой» позицией. Поскольку отсчеты берутся с интервалом около 3 с, положение максимума

определяется наблюдениями, перекрывающими интервал около 10 с. Весь период смещения занимает около 25 с. Поэтому определение направления абсолютного движения в большой степени независимо от обычных температурных колебаний. Наблюдения носят дифференциальный характер и могут быть выполнены с высокой степенью достоверности при всех условиях. Комплекс отсчетов обычно содержит около 20 поворотов интерферометра, сделанных за период около 15 мин, это дает около 40 определений периодически повторяющегося эффекта. Эти 40 значений усредняются, что и считается одним «наблюдением». Никакие температурные эффекты или другие виды искажений, если они не обладают периодом в 20 с на интервале в 15 мин, могут быть в значительной степени исключены за счет усреднения. Остающийся периодический эффект окончательного усреднения должен быть реальным.

Положение системы интерференционных полос определяется в десятых долях ширины полосы. Действительная скорость движения Земли определяется амплитудой периодического смещения, которое пропорционально квадрату относительной скорости Земли и эфира и длине светового пути интерферометра. Относительное движение со скоростью в 30 км/с, равное орбитальной скорости Земли, должно было бы создать смещение полос от одного экстремума до другого, равное 1,1 полосы. Возмущения, связанные с температурой или другими причинами, длящиеся несколько секунд или минут, могут повлиять на текущую величину наблюдаемого смещения, что может сделать менее точным наблюдаемое значение скорости относительного движения, но в это же время положение максимального смещения при этом не будет искажено. Поэтому ожидалось, что наблюдения скорости движения будут не столь точными, как наблюдения за направлением движения. Два параметра – скорость и азимут относительного движения − практически взаимно независимы.

Желательно иметь наблюдения, равномерно распределенные на все 24 часа суток. Поскольку одна группа наблюдений занимает около 15 мин, то правильно распределенных 96 групп оказывается достаточно. Проведение такой серии занимало обычно период в 10 дней. В конце наблюдения сводились в одну группу, средняя дата рассматривалась как дата всей серии наблюдений (эпохи). Наблюдения на Маунт Вилсон в 1925 году соответствовали трем таким датам: 1 апреля, 1 августа и 15 сентября, и их было более чем вдвое

больше по количеству, чем всех предыдущих наблюдений эфирного ветра, проделанных с 1881 г. Общее число наблюдений в Кливленде содержало около 1000 оборотов интерферометра, а все наблюдения, проведенные на Маунт Вилсон до 1925 г., содержали 1200 оборотов. Наблюдения же 1925 г. содержали 4400 оборотов интерферометра, в течение которых было сделано более 100.000 считываний. Группа из 8 отсчетов давала величину и направление эфирного ветра, так что было получено 12.500 единичных измерений. Для этого наблюдатель должен был в темноте по небольшому кругу пройти общую дистанцию в 100 миль, производя считывание показаний. Условия проведения всех этих наблюдений были исключительно хорошими. В некоторые периоды был туман, который хорошо выравнивал температуру. На наружных стенах дома висели четыре прецизионных термометра. Экстремальная вариация температуры часто не превышала 0,1°, а обычно не превышала 0,4°. Такие вариации не могли влиять на периодическое смещение полос. Надо добавить, что во время проведения отсчетов ни наблюдатель, ни регистрирующий сотрудник не имели ни малейшего представления о том, есть ли периодичность, какова она и какова ее ориентация.

100.000 отсчетов были соединены в группы по 20, усреднены и затем нанесены на графики. Затем графики исследовались механическим гармоническим анализатором с тем, чтобы определить азимут и амплитуду эфирного дрейфа. В работе использовались все наблюдения в оригинале – без пропусков, без назначения «весов» и вообще без каких-либо коррекций. Результаты анализа были нанесены на графики таким образом, чтобы показать вариации азимута на протяжении полных суток для каждой даты наблюдений; вариации скорости были нанесены на графики аналогичным образом. Наблюдения 1925 г., таким образом, дали шесть графиков: три из них показывали вариации азимута в различные эпохи и три – вариации скорости. Графики показаны на рис. 10.1 и 10.2. Точки, соединенные тонкой линией, представляют отдельные наблюдения, каждое из которых усреднено на основании отсчетов, сделанных на 20 оборотах интерферометра за время около 15 мин. Толстая линия представляет собой усреднение наблюдений для одной эпохи. На рис. 10.1 абсцисса содержит 24 ч гражданских суток, расположение на этой линии соответствует направлению движения на север, при этом точки выше линии соответствуют восточным азимутам, а точ-

ки ниже линии — западным азимутам. На рис. 10.2 абсцисса также соответствует 24 ч гражданских суток, тогда как по ординате отложено значение скорости эфирного ветра, то есть скорость относительного движения эфира, в километрах в секунду. Здесь очевидно, что в наблюдениях содержится реальный эффект: каждая кривая имеет определенную и характерную форму. Результаты определенно не нулевые и не являются случайными ошибками наблюдений. Азимут наблюдавшегося эффекта рис. 10.1 варьируется периодически в течение 24 часов суток; среднее значение его равно 45°, то есть северо-западное; время наибольшей западной девиации варьируется в зависимости от времени года. На рис. 10.2 показано, что величина эффекта также варьируется периодически, при максимуме около 10 км/с, который случается в различные моменты времени в течение дня в различные периоды года.

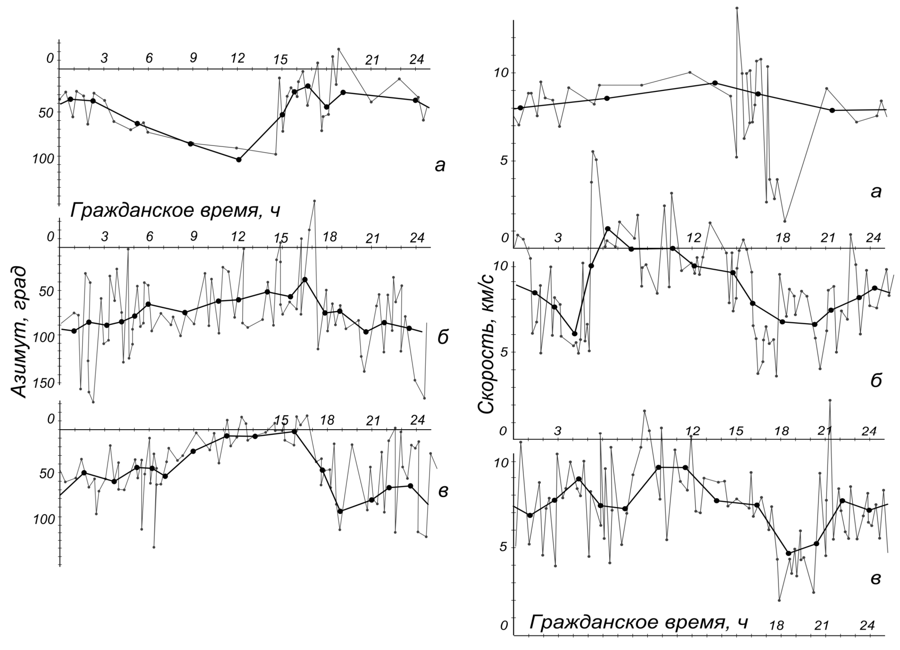


Рис. 10.1. Вариации азимута эфирного ветра

Рис. 10.2. Вариации скорости эфирного ветра

а — 1 апреля 1925 г.; б — 1 августа 1925 г.; в — 15 сентября 1925 г.

Невозможно представить какие-либо эффекты, связанные с температурой, тепловым излучением, магнетизмом, гравитацией и

другими причинами, которые могли бы создать систематические вариации, определенные для различных эпох наблюдения. Поэтому можно утверждать, что полученный эффект является следствием движения Земли и всей Солнечной системы сквозь эфир, то есть следствием реального «эфирного ветра». Были проведены различные графические и вычислительные определения апекса и скорости такого движения.

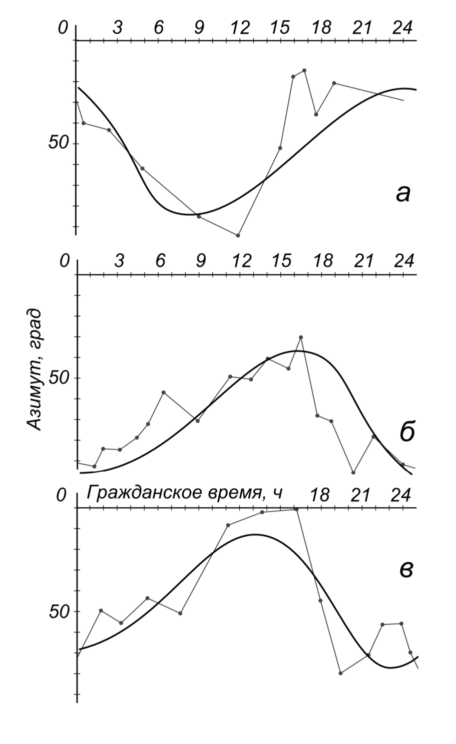


Рис. 10.3. Совмещение теоретической кривой азимута эфирного ветра (плавная кривая) с результатами наблюдений (ломаная)

Рис. 10.4 Совмещение теоретической кривой относительно скорости эфирного ветра (плавная кривая) с результатами наблюдений (ломаная)

а – 1 апреля 1925 г.; б – 1 августа 1925 г.; в – 15 сентября 1925 г.

Эти решения были проверены с помощью параллелограммного механического аппарата, и наконец – частично методом наименьших квадратов. Было установлено, что если спроектировать направление в точку в созвездии Дракона, имеющую прямое восхож-

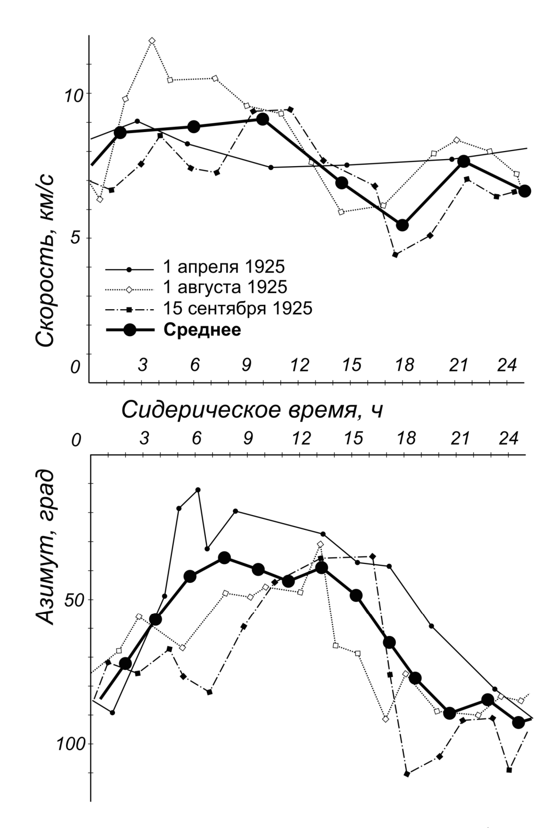


Рис. 10.5. Отнесение результатов наблюдений эфирного ветра, проведенных в различное время суток, к сидерическому (звездному) времени

дение 262° (17 $^1/_2$ ч) и склонение в +65°, когда спроектированный на плоскость интерферометра во все часы дня в три эпохи наблюдения азимут будет варьироваться так, как показано плавной толстой линией на рис. 10.3.

Однако азимут на самом деле должен варьироваться симметрично по отношению к направлению на север, так что кривая должна расположиться частично над и частично под абсциссой.

На рис. 10.3 кривая была произвольно смещена вниз – в сторону западных азимутов, чтобы согласовать ее с ломаной линией, изображающей истинные результаты наблюдений, взятые из рис. 10.1.

Если движение направлено к созвездию Дракона со скоростью 10 км/с и остается неизменным в течение года, то его проекция на плоскость интерферометра должна изменяться по величине в течение суток, для трех эпох наблюдения это показано плавной кривой на рис. 10.4. Ломаная линия показывает вариации величины наблюдаемого эффекта, усредненные из рис. 10.2.

Кривые, рассмотренные выше, были отнесены к местному гражданскому времени обсерватории Маунт Вилсон.

Если направление и скорость движения постоянны в течение года, то графики суточных вариаций могут быть более точно при-

вязаны к звездному времени; на рис 10.5 они именно так и привязаны, при этом жирная линия представляет среднее из всех наблюдений 1925 г. Здесь видно примечательное совпадение кривых для различных времен года, если они привязаны к сидерическому, то есть к звездному времени.

Из графиков видно, что совпадение кривых для направления движения лучшее, чем для скорости. На рис. 10.6 приводится окончательное усреднение относительных данных рис. 10.5 в виде ломаной линии, а рассчитанные эффекты показаны плавной линией. Кривые для азимута вычерчены в масштабе, удвоенном по сравнению с предыдущими рисунками, чтобы лучше представить замечательное совпадение кривых. Когда наблюдаемые величины представляются в виде указанных двух графиков, они оказываются взаимно независимыми: каждый дает прямое восхождение и склонение абсолютного движения Земли.

Прямое восхождение — это сидерическое время, в котором азимут (в простом случае) проходит с востока на запад через север; это соответствует точке, в которой график пересекает истинную абсциссу, проходя от максимума к минимуму. Пунктирная линия в нижней части рис. 10.6 показывает, что это происходит в 17 ч 30 мин, что и является прямым восхождением апекса; в угловой мере это эквивалентно 262°. Склонение апекса может быть определено по амплитуде графика с учетом широты обсерватории; значение склонения, полученное таким образом, равно +65°.

Наблюдаемая скорость движения Земли в проекции на плоскость интерферометра должна показать дневную вариацию скорости ветра как результат вращения Земли вокруг своей оси. Эта магнитуда должна уменьшаться до минимального значения в сидерическое время, равное прямому восхождению апекса; и достигать максимального значения спустя 12 ч. Учитывая широту Маунт Вилсон, равную 31°14', и наклонение апекса, полученное из азимутов наблюдений, получаем, что в момент максимума плоскость интерферометра образует угол менее 8° с направлением движения Земли. Поэтому проекция скорости не сильно отличается от полного значения скорости в это время, которое поэтому может считаться близкой к 10 км/с.

Наклонение апекса может быть определено как из наблюдений скорости, так и из наблюдений азимута, поскольку они определяют отношение между максимальным и минимальным значениями ско-

рости для заданной широты. Совпадение значений прямого восхождения, полученных из этих независимых кривых, показано на рис. 10.6 с помощью ломаной линии. Вместе с хорошим совпадением для наклонения эти данные подтверждают, что наблюдаемый эффект и ожидаемое движение непосредственно связаны. Изучение числовых значений результатов показывает, что вероятная погрешность определения азимута эффекта равна ±2°, а вероятная погрешность определения наблюдаемой скорости по отношению к значению 10 км/с равна ±0,6 км/с.

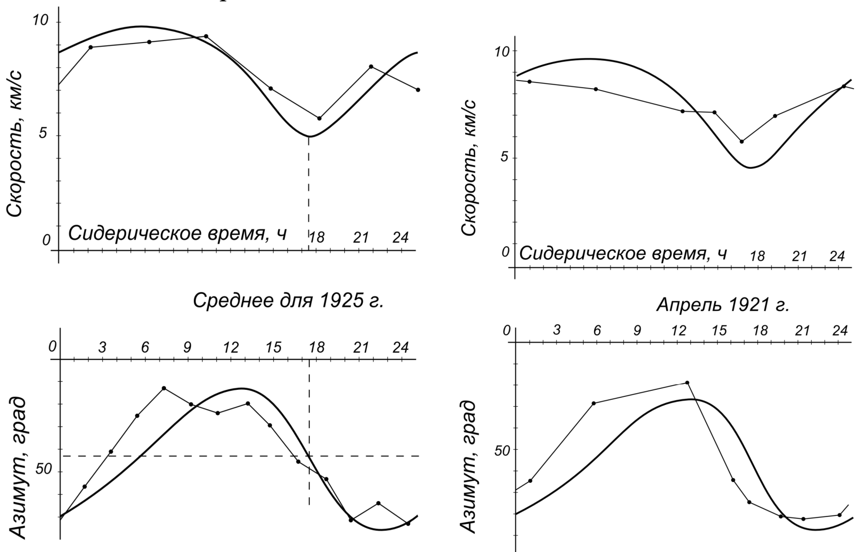


Рис. 10.6. Совмещение усредненных измеренных и теоретических значений азимута и относительной скорости эфирного ветра для 1925 года

Рис. 10.7. Совмещение усредненных измеренных и теоретических значений азимута и относительной скорости эфирного ветра для 1925 г. (плавная кривая) и 1921 г. (ломаная)

То обстоятельство, что направление и скорость эфирного ветра не зависят от местного времени и постоянны по отношению к сидерическому времени, показывает, что эффект независим от орбитального движения Земли. Эффекты орбитального движения не были обнаружены в наблюдениях 1925 г.; это прямо совпадает с результатами, полученными Майкельсоном и Морли в 1887 г. и Морли и Миллером в 1905 г.

Чтобы объяснить этот эффект, предположили, что движение Земли в пространстве имеет скорость более 200 км/с, но вследствие неизвестной причины относительное движение Земли и эфира в интерферометре на Маунт Вилсон уменьшается до 10 км/с. При этом предположении компонента, характеризующая орбитальное движение Земли, создает эффект, находящийся в пределах наименьшего значения, которое может быть измерено данным интерферометром. По этой причине предполагается, что движение Солнечной системы имеет скорость как минимум 200 км/с, а возможно – значительно большую. Тот факт, что наблюдаемый феномен зависит от сидерического времени и не зависит от суточных и сезонных изменений температуры и от других земных причин, показывает, что это – космический феномен.

Предыдущие наблюдения на Маунт Вилсон сопоставимы с последними наблюдениями несмотря на то, что они были недостаточными по объему. На рис. 10.7 сравниваются результаты наблюдений 15 апреля 1921 г. с кривой, рассчитанной по наблюдениям в 1925 г.; как видно, совпадение очень хорошее.

Полное изучение эксперимента по эфирному ветру в 1925 г. на Маунт Вилсон приводит к выводу о существовании систематического смещения интерференционных полос, совпадающих с постоянным относительным движением Земли и эфира в районе обсерватории, равным 10 км/с, и о том, что вариации направления и измеренной скорости движения в точности такие же, какие могли быть созданы постоянным равномерным движением солнечной системы в пространстве со скоростью 200 км/с или более, апексом в созвездии Дракона около полюса эклиптики с прямым восхождением в 262° и наклонением в 65°. Чтобы истолковать этот эффект как эфирный ветер, необходимо предположить, что Земля увлекает эфир, так что ***кажущееся относительное движение в районе обсерватории уменьшается от 200 км/с или более — до 10 км/с, и что увлечение эфира также смещает кажущийся азимут движения примерно на 45° северо-западу*** (*курсив мой – В. А.*).

Значения величин, определяющих абсолютное движение Солнечной системы, полученное из вышеизложенных наблюдений эфирного ветра, находится в хорошем согласии с результатами, полученными другими методами. Так, новейшие исследования собственного движения звезд, проведенные Ральфом Вильсоном в обсерватории Дадли, и радиального движения звезд, проделанные

Кемпбеллом и Муром в обсерватории Лик, привели к выводу, что апекс движения Солнца находится в созвездии Геркулеса с прямым восхождением 270° и наклонением около +30° при скорости около 90 км/с.

Д-р Штромберг в обсерватории Маунт Вилсон из наблюдения звездных скоплений и спиральных галактик установил, что Солнечная система движется к точке с прямым восхождением 307° и наклонением +56° со скоростью 300 км/с. Лундмарк, изучая спиральные галактики, нашел доказательство движения, имеющего скорость 400 км/с. Различные определения движения Солнечной системы показывают одно и то же направление с разбросом в пределах круга с радиусом 20°. Предположенная нами скорость 200 км/с есть просто-напросто нижний предел, она может быть и 300, и 400 км/с. Поэтому это предположение не вызывает принципиальных трудностей.

Расположение апекса по наблюдениям эфирного ветра в созвездии Дракона с прямым восхождением 262° и наклонением +65° отличается на 6° от направления на полюс эклиптики, а значит, индицированное движение Солнечной системы практически перпендикулярно эклиптике. Ось вращения Солнца отклонена на 12° от данного апекса. Неудивительно, если окажется, что имеются какие-то динамические объяснения этого факта. Предположение о том, что происходит увлечение эфира Землей, требует значительного пересмотра прежних теорий эфира, а также модификации принятых объяснений аберрации. Комментируя предварительный отчет о настоящей работе, представленный в Национальную академию наук в апреле 1925 г. д-р Л.Зильберштейн сказал:

«С точки зрения теории эфира – эти результаты, так же, как и предшествующие, легко объясняются с помощью концепции эфира Стокса, модифицированной Планком и Лоренцем и обсуждавшейся автором Зильберштейном в „Philosophical Magazine“[27]*».*

Теория Стокса может быть описана с помощью нижеследующей цитаты из труда сэра Джозефа Лармора «Эфир и материя» ("Aether and Matter" с. 10, 13, 35 и 36):

Поскольку сэр Джордж Стокс не согласен с тем, что эфир может свободно проходить через материальные тела в том виде, как это представляется Френелем, и поскольку любая другая теория его

[27] February, 1920, Vol. 39, page 161.

движения, согласующаяся с наблюдаемой астрономической аберрацией, требует безвихревого потока, объяснение ограничений в этом потоке, полагал он, должно быть найдено. Эта цепь аргументов, — что движение тел возмущает эфир и что аберрация требует, чтобы возмущения были безвихревыми, — может быть объяснена только через дисперсию зарождающихся вихревых возмущений в поперечные волны и тем, что излучение само по себе представляет поперечные волны, и это он рассматривает как взаимозависимое отдельное доказательство, проливающее свет на структуру эфира… Возникает вопрос, как далеко подобное объяснение может быть распространено на случай, когда эфир увлекается материей, движущейся сквозь него. Здесь должно быть привлечено внимание к рассуждениям сэра Джорджа Стокса, которые могут вызвать предположения о том, что светоносная способность сама по себе противоречит возникновению любых вращательных движений в эфире. В самом деле, несложно видеть, что энергия натяжения твердой несжимаемой среды типа обычной материи может быть истолкована как объемный интеграл, учитывающий только дифференциальное скручивание (вращение), вместе с поверхностным интегралом, определяющим граничные условия, а отсюда следует, что местные возникновения вращательного движения в упругом эфире должны немедленно преобразоваться в поперечные волны, так что, если жесткость достаточно велика, никаких следов вращательного движения в среде не сохраняется.

Существуют систематические различия в так называемой константы аберрации и в стандартных положениях звезд для различных обсерваторий, которые могут быть объяснены с помощью гипотезы о вариациях эфирного ветра, связанных с разницей в локальном коэффициенте увлечения. Увлечение для каждого данного места зависит в большей или меньшей степени от высоты местного рельефа и распределения больших масс, таких, как горные хребты. Эксперименты по определению эфирного ветра никогда не производились на уровне моря и вообще нигде, кроме Маунт Вилсон при удовлетворительном объеме, достаточном для точного измерения эффекта. Имеющиеся результаты показывают, что эфирный ветер на Маунт Вилсон не слишком сильно отличается по скорости от наблюдавшегося в Кливленде и что на уровне моря он может быть примерно тем же.

Снижение измеренной скорости с 200 км/с или большей до наблюдавшегося значения 10 км/с может быть объяснено также и теорией сокращения длин, выдвинутой Лоренцом и Фицжеральдом, без предположения о замедлении движения эфира. Сокращение может зависеть или не зависеть от физических свойств тела и может быть или не быть в точности пропорциональным квадрату относительной скорости Земли и эфира. Весьма малое отклонение сокращения от количества, вычисленного Лоренцом, может объяснить наблюдавшийся эффект. В настоящее время пересмотр результатов эксперимента Морли–Миллера 1902–1904 гг. в свете эффекта Лоренца–Фицжеральда показал, что интерпретация этого эффекта может быть модифицирована в связи с учетом большой скорости Солнечной системы, определенной в 1925 г.

Необходимо твердо указать, что определение абсолютного движения Солнечной системы из интерферометрических наблюдений — одно из чрезвычайно сложных. Я очень обязан проф. Дж. Дж. Нассау из отдела математики и астрономии Кейсовской Школы прикладных наук и д-ру Дж. Штромбергу из руководства обсерваторией Маунт Вилсон, которые оказали огромную помощь в анализе и математической обработке различных частей проблемы.

Примечание. Пока подготавливалась эта работа, на Маунт Вилсон была проведена весьма обширная серия наблюдений, соответствующая периоду 8 февраля 1926 г. и состоящая из 2000 оборотов интерферометра. Общее заключение: эти наблюдения вполне совпадают с вышеизложенным отчетом, хотя возможно, что будут небольшие модификации в количественных результатах, когда все наблюдения будут обобщены. Подробные вычисления займут несколько месяцев.

Дейтон К.Миллер. Кейсовская Школа прикладных наук.
Science. 1926. Vol LXIII, No. 1635. April 30.

А.К.Тимирязев. По поводу дискуссии об опытах Дейтона Миллера на V съезде русских физиков (1927)

Аркадий Климентьевич Тимирязев, Московский государственный университет



Аркадий Климентьевич Тимирязев (1880–1955)

В № 1 нашего журнала за текущий год, в статье «V съезд русских физиков» [**], товарищи Г. и Е. вскользь затронули вопрос о дискуссии, происходившей на секции общей физики 15/XII по докладу об опытах Дейтона Миллера, [***] прочитанного пишущим эти строки. Так как краткие замечания авторов упомянутой статьи могут создать в лучшем случае не точное представление о фактическом содержании дискуссии, то приходится остановиться несколько подробнее на изложении этой дискуссии и связанных с нею вопросов. Прежде всего, в чем состоял «доклад т. А. К. Тимирязева с его известной точкой зрения па опыты Дейтона Миллера»? Он состоял в изложении этих опытов, но без установленных теперешней «научной модой» сокращений и «смазываний» наиболее существенных аргументов, выдвинутых Дейтоном Миллером [28]). Кроме того, доклад был дополнен справками об опытах

[**] Съезд проходил 15-20 декабря 1926 г. в Москве. – *Прим. ред.*

[***] Дейтон-Миллер, Эрнст Рутерфорд, Моунт-Вильсон, магнето-стрикция, Милликан, Whittaker, Michelson, клм/сек по тексту статьи заменены на Дейтон Миллер, Эрнест Резерфорд, Маунт-Вилсон, магнитострикция, Милликен, Уиттекер, Майкельсон, км/с соответственно. Разрядка в тексте оригинальной статьи воспроизведена жирным шрифтом. — *Прим. ред.*

[28] Доклад Дейтона Миллера напечатан в № 11 «Под Знаменем Марксизма», так что читатель может навести какую угодно справку в статье самого автора этих замечательных опытов. К сожалению, в переводе по недосмотру оказались пропущенными на стр. 99 следующие слова: «**наблюдатель не должен касаться интерферометра каким бы то ни было способом**» («the observer must not touch the interferometer in any way»). Sience 30/IV

1887 и 1904–1906 г.г. Дейтон Миллер обратил внимание всего ученого мира на следующий замечательный факт. Оказывается, и в 1887 г. и в 1904–1906 г.г. наблюдался тот самый эффект, который был подробно исследован Дейтоном Миллером в 1921 и 1925 г.г. В этих старых работах цифры; действительно показывают наличие некоторого положительного эффекта, но так как ни величина, ни направление не совпадали с тем, что ожидали тогда, то очень скоро установилась «традиция», что опыт Майкельсона дает в точности нулевой результат. Я, действительно, каюсь в том, отступил от этой традиции и даже особенно подчеркнул эту сторону дела, то есть указал на имевшиеся положительные результаты в опубликованных статьях самого Майкельсона–Морли и Дейтона Миллера. Принес даже с собой обе книжки! Но эта часть доклада так и осталась без возражений! Об опытах до 1921—1925 г.г. мои оппоненты не упоминали, считая, очевидно, что эти данные не имеют никакого значения, вопреки ясному и недвусмысленному указанию Дейтона Миллера, подтвержденному цифрами, напечатанными в «Philosophical Magazine» за 1887 и 1905 г.г.

Посмотрим теперь, чем отличается «известная точка зрения т. А. К. Тимирязева» при изложении опытов Дейтона Миллера от другой точки зрения, принятой той частью русских физиков, которые на все 100 % принимают теорию Эйнштейна.

Вот, например, в статье проф. С. И. Вавилова «Новые поиски „эфирного ветра“», напечатанной в 3–м выпуске «Успехов физических наук», на первых строках читаем мы следующее:

«Историю старых попыток выследить движение земли в „мировом эфире“ оптическими и электрическими методами можно найти ***во многих книгах и статьях, связанных с теорией относительности. Здесь нет необходимости это напоминать еще раз*** *»[29]) (Подчеркнуто нами. А. Т.).*

1926, стр. 437. Академик А. Ф. Иоффе в своей статье, напечатанной в № 1 «Правды» от 1 января, изображает дело иначе: «**сам наблюдатель бегает вокруг аппарата, непосредственно к нему прикасаясь**» (!? А. Т.), хотя видеть этого академик Иоффе не мог, так как ему «**удалось побывать на Маунт-Вилсон и видеть постановку этих опытов, к сожалению, в отсутствие Миллера**» (! *А. Т.*).

[29] Эта статья усердно рекламировалась на V съезде. Везде были расклеены плакаты «Об эфирном ветре читайте в 3-м выпуске „Успехов Физики“» (!).

О том, что наблюденный Дейтоном Миллером эффект можно заметить и в результате прежних опытов, ни единого слова! А вот что писал сам Дейтон Миллер в своем письме в журнал «Nature» («Природа») 26 июня 1926 г.:

«Проф. Эйнштейн сделал гипотезу, что движение наблюдателя не производит никакого эффекта на скорость света. Эта гипотеза передается в сотнях книг в качестве правильного истолкования опытов. Она была принята, по-видимому, без тщательного изучения оригинальных исследований».

Я открыто признаюсь, что не только не утаил в своем докладе, а даже, наоборот, особенно подчеркнул это по существу крайне легкомысленное отношение к критической оценке фактов, изложенных в оригинальных статьях весьма выдающихся ученых, **проявленное как сторонниками, так и противниками теории Эйнштейна.** Конечно, это многим пришлось очень не по вкусу, но тут уж я, как гоголевский городничий: «ей-богу, не виноват!».

Второй пробел в моем изложении — пробел, конечно, с общепринятой точки зрения сторонников Эйнштейна, это то, что я продемонстрировал все кривые, напечатанные в статье Дейтона Миллера, в том числе и те, в которых результаты перечислены на звездное время. В самом деле, как показал Миллер, в какое бы время года мы ни производили измерения, мы получаем одну и ту же кривую, если все результаты перечислить на звездное время. Это громадной силы довод в пользу правильности результатов, полученных Дейтоном Миллером. В самом деле, если, вопреки свидетельствам контрольных опытов, производившихся Дейтоном Миллером в течение шести лет, мы будем приписывать наблюденный эффект влиянию неравномерного нагревания солнцем того здания, в котором находится прибор, то как же один и тот же эффект в одно и то же время (но звездному времени) происходит при самых разнообразных положениях солнца, в том числе и таких, когда оно под горизонтом? Или, может быть, на Маунт Вилсон нашелся кто-нибудь, кто по методу Иисуса Навина остановил движение солнца на сей раз среди звезд и в те именно дни, когда Миллер производил свои измерения, а Миллер, увлеченный своими измерениями, этого не заметил?!!

Вот опять чистосердечно каюсь, я не скрыл результатов перечисления экспериментальных данных на звёздное время, выполненного Дейтоном Миллером и показал на диапозитивах все кривые,

приведенные в статье Дейтона Миллера [30]). **В статье проф. С. И. Вавилова приведены также и кривые Дейтона Миллера, но за исключением тех, где сделано перечисление на звездное время!** Как же теперь не потерять равновесия, когда выходит докладчик и показывает те кривые, которые могут смутить тех из физиков, для которых в самой физике еще осталось кое–что кроме одних уравнений? В общем же о содержании моего доклада читатель может судить по упомянутой статье самого Дейтона Миллера. В мою задачу входило изложить то, что было напечатано самим Дейтоном Миллером, это диктовалось теми соображениями, что журналы, в которых эти статьи были напечатаны, не пользуются широким распространением у нас, а изложения его работ в наших журналах типа «Успехи физических наук», как мы уже видели… как бы это получше сказать, – очень уж «объективны»!

Переходим теперь к возражениям. Академик А. Ф. Иоффе выдвинул следующие возражения. Прежде всего, ему не понравилась обстановка опытов (видел эту обстановку, по (собственному признанию, подтвержденному им самим в печати («Правда» 1–го января 1927 г.) в отсутствии Дейтона Миллера). Не понравилось и устройство помещения, через стены которого продувал не только эфирный, но и самый обыкновенный ветер! Далее, по его, А. Ф. Иоффе, подсчету, неравномерное нагревание в 1/20000 долю градуса достаточно, чтобы вызвать тот эффект, который Дейтон Миллер принимает за «эфирный ветер» (как эти нагревания располагаются столь удивительным образом, что кривая для звездного времени одна и та же во все времена года — этого А. Ф. Иоффе не объяснил и вообще он не касался скользкого вопроса о звёздном времени!).

Правда, в статье А. Ф. Иоффе, напечатанной в «Правде» 1 января, 1/20000 доля градуса перешла уже в 1/2000, но, конечно, не в этом суть дела. Указывалось также, что при таких больших т. н. случайных ошибках отдельных наблюдений из них нельзя делать тех выводов, какие были сделаны; указывалось также, что при таких условиях эти выводы сами случайны. Из личных разговоров А. Ф. Иоффе с одним из бывших ассистентов Дейтона Миллера он вынес заключение, что Дейтон Миллер очень упрям и, несмотря ни на какие увещания, не соглашался принять необходимых мер пре-

[30] Кривые воспроизведены в № 11 «Под Знаменем Марксизма» за 1926 г.

достороженности и только после очень длинных увещаний согласился надеть покрышку на свой прибор для защиты его от колебаний температуры (странно только одно, почему эта покрышка видна на фотографии прибора Миллера, относящейся к 1905 г.; см. «Philosophical Magazine», X том, 1905 г.?). На все вопросы, в том числе и на письменный вопрос, адресованный Лоджем в «Nature», Миллер повторяет будто бы одну только заученную фразу: «Я вполне уверен» (I am absolutely sure). Подразумевается, конечно, в полученных мною результатах. Наконец, наблюденное и еще не объясненное смещение всей кривой на запад А. Ф. Иоффе назвал абсурдным — абсолютно непонятным явлением [31]).

В качестве общего упрека было еще указано, что работа Дейтона Миллера единственная в своем роде, так как в ней не указана вероятная ошибка измерений. В ответ на этот упрек докладчику пришлось только переписать на доске из статьи Миллера 1925 г. одну цифру: 10,5 km/sec ± 0,6 km/sec. В конце своей речи академик Иоффе сделал весьма интересное заявление: он откровенно признался, что с самого начала он подходил к опытам Дейтона Миллера с предубеждением, так как все остальные опыты говорят в пользу теории Эйнштейна. К этим возражениям академика А. Ф. Иоффе проф. Я. И. Френкель добавил следующее. Во-первых, некоторые физики, придерживающиеся теории эфира, как, например, Оливер Лодж, занимаются спиритизмом и, во-вторых, когда Дейтон Миллер выступил с докладом о своих опытах на заседании Британской Ассоциации, то Эрнест Резерфорд и Нильс Бор демонстративно покинули зал заседаний (!! *А. Т.*).

Что же ответил на эти возражения докладчик?

Свое заключительное слово он начал с указания на то, что, конечно, трудно защищать экспериментальную работу за несколько тысяч километров, но, с другой стороны, и одно внешнее впечатление от прибора, который бегло осматриваешь, к тому же в отсутствии автора, мало что может дать. Если мы посмотрим те приборы, с которыми были сделаны классические работы и которые стоят сейчас в музеях, то они поражают своей неприглядностью: не верится, например, что с теми жалкими приборчиками, какие можно видеть

---

[31] В своем втором, значительно более кратком, выступлении (после заключительного слова докладчика! А. Т.) А. Ф. Иоффе это «абсурдное» смещение приписывал уже влиянию одностороннего нагревания!

в музее «Консерватории искусств и ремесел» (Conservatoire des arts et metiers) в Париже, могли быть осуществлены классические исследования Ампера. Утверждать, что все написанное Дейтоном Миллером – ложь, что никаких предосторожностей, о которых он пишет, он на деле не принимал, конечно, можно, но почему же тогда не взять под подозрение все работы, которые будут доложены на настоящем съезде и в которых авторы будут ссылаться на проделанные ими опыты? А, может быть, никто из них на самом деле никаких опытов не производил? Наконец, почему мы должны принимать неправильно истолкованные опыты 1904–1906 г.г., дававшие будто бы отрицательные результаты и положенные в основу теории относительности, – за окончательное решение задачи? Ведь эти опыты были выполнены в значительной своей части… тем же Дейтоном Миллером! А ведь его теперешние опыты будто бы обнаружили «большую грубость и научную несостоятельность» (?! *А. Т.*). Если быть последовательным, то надо было бы сказать: так как опыты 1904 — 1906 годов были произведены, как это обнаружилось в лето 1926, но умеющим работать ученым (пока результаты одной из его работ не ударили по модной теории — он считался одним из лучших экспериментаторов! *А. Т.*), то и результаты его прежних опытов, а следовательно, и основывающаяся на них вся теория Эйнштейна, должны быть поставлены под сомнение! [32])

[32] Обвинение в неряшливой постановке опыта, по-видимому, выдвигается только у нас – среди русских физиков. Вот что пишут иностранные критики. Проф. Ив, в «Nature» от 10 апреля 1926 г. (A.S.Eve «Tests of Relativity Theory» Nature 117, 520-522 (10 April 1926) —Прим. ред.) откровенно признающийся, что его уверенность в правоте эйнштейновой теории заставила его подходить к опытам Дейтона Миллера с большой осторожностью, все-таки так характеризует самого Дейтона Миллера: *«Он принял все предосторожности, на какие только способен самый осторожный из физиков; он прислушивался и проверял предположения своих друзей критиков, потому что он является человеком, у которого нет врагов»*. В последнем утверждении проф. Ив, конечно, ошибся. Если бы он побывал на V съезде русских физиков, он, вероятно, этого не сказал бы. Спрашивается, как согласовать это мнение критически настроенного американского ученого с утверждением академика А. Ф. Иоффе? Дейтон Миллер упрям и никого и ничего не слушает? Еще более недоверчивый критик, чем проф. Ив, престарелый Оливер Лодж точно также, говоря о работе Миллера, пишет:

Перейдем теперь к наиболее важному вопросу. Метод интерферометра действительно очень чувствителен и ничтожнейшие колебания температуры вызывают смещение интерференционных полос. Это обстоятельство отпугивало экспериментаторов от применения этого чувствительного метода в тех случаях, когда за постоянство температуры нельзя было ручаться. В 1919 году Майкельсон и Пиз поставили себе задачу соединить интерферометр со 100-дюймовым рефлектором и таким образом построить прибор, которым можно было бы измерить… диаметр звезд! В этом приборе два луча света, **ничем не прикрытые**, идут на расстоянии 100 дюймов друг от друга (и никто так и не напомнил, что надо надеть покрышку; не напоминают и сейчас! *А. Т.*) вдоль всего рефлектора, помещающегося в обычной астрономической башне с открытыми створками, где уж во всяком случае, по выражению академика А. Ф. Иоффе, гуляет «не только эфирный, но и самый обыкновенный ветер».

Практика, однако, показала, что полосы интерференции видны вполне отчетливо. Работа была выполнена, и диаметры звезд измерены! Вот что пишет астроном Хель об этой работе. «Профессор Майкельсон сделал первую попытку наблюдать полосы (интерференции). *А. Т.*) с 60- и 100-дюймовыми рефлекторами на Маунт-Вилсон в сентябре 1919 г. **Он был удивлен и восхищен, заметив, что полосы были вполне резкими и ясными** при полной апертуре обоих инструментов» («Новое небо» Г. Е. Хель, стр. 46. 1922 г. Соед. Штаты, изд. Скрайбнера).

Насколько это обстоятельство придало уверенность Майкельсону в том, что влияния колебаний температуры не так уж страшны, показывает следующее. Когда Майкельсон приступил к осуществлению своего давнишнего плана показать вращение земли, то он пустил лучи… на открытом воздухе! Вот описание этих предварительных опытов.

«Его усердие, энтузиазм и предприимчивость вызывают в нас чувство высокого восхищения. Он повторил опыт не шесть, не двенадцать, а тысячи раз; на вершинах гор и долинах, с рамами, сделанными из различных материалов, и с достаточной длиной светового луча, чтобы иметь возможность получить результат в одну тысяча-миллионную долю» («Nature», 19 июня 1926 г.).

О большой грубости и научной несостоятельности, как видим, ни слова!

«Первые опыты были произведены Майкельсоном в 1923 г. на горе Маунт-Вилсон. При помощи зеркал он заставлял лучи обходить контур в двух противоположных направлениях. ***Лучи шли на больших расстояниях через свободный воздух, всегда более или менее неспокойный****; вследствие этого можно было ясно наблюдать интерференционные полосы только в течение получаса до и после захода солнца. Но полосы были даже при лучших условиях настолько подвижны, они так сильно дрожали, что ни о каких точных измерениях не могло быть и речи. Тогда Майкельсон предпринял новую работу, построив систему труб, из которых можно было выкачать воздух, и внутри которых происходило распространение лучей» (проф. О. Д. Хвольсон. Курс физики. Том дополнительный. Физика 1914 – 1926. П. Гиз. 1926 г. Стр. 232).*

Напомним, что в окончательных опытах Майкельсона длина светового луча была около 2-х километров. В опытах же Дейтона Миллера, где пути лучей длиной в 65 метров идут взад и вперед несколько раз, все это укладывается на цементной плите в полтора квадратных метра! И все это покрыто стеклянной покрышкой, а в некоторых случаях и слоем пробки в дюйм толщиной! Следовательно, у Дейтона Миллера внешние условия были гораздо более благоприятные. Однако никому в голову не приходит подвергнуть сомнению результаты измерений диаметра звезд, хотя те же тысячные доли градуса могут изменить до неузнаваемости измеряемые величины! Ответ здесь вполне ясен: каков бы ни был диаметр звезд, это не затрагивает теории Эйнштейна, а потому, какой смысл сомневаться в правильности опытных данных? Другое дело, когда опыт идет в разрез с теорией, которой многие преданы до самозабвения. Такой фанатик модной теории всегда рассуждает так: факты против — тем хуже для них! Весь секрет успеха Дейтона Миллера сводится к тому, что каждая отдельная серия измерений производится очень быстро, около 25 секунд, а определение направления, в котором замечается максимум смещения, производится в течение промежутка времени около 10 секунд. Поэтому, принимая во внимание большую «тепловую инерцию» прибора, можно с уверенностью сказать, что быстрота, с которой производятся измерения, в значительной степени парализует вредное влияние колебаний температуры. **Для дальнейшего устранения этих же влияний, температура в помещении не должна отличаться от температуры наружного воздуха—это особенно подчеркивает Миллер. Вот**

почему опыты с эфирным ветром должны производиться в помещениях, куда проникает и обыкновенный ветер!

Утверждение А. Ф. Иоффе, что на вопрос О. Лоджа — не зависит ли весь эффект от неравенства температуры неравномерно нагреваемого солнцем здания, в котором помещался прибор, Дейтон Миллер будто бы ответил: «Я вполне уверен» в своих результатах, — фактически неверно. Вот что Миллер пишет в своем письме, напечатанном в «Nature» 26 июня 1926 г. в ответ Лоджу.

«Проф. Оливер Лодж ставит вопрос, что получилось бы, если бы результаты были истолкованы на основании предположения, что южная сторона здания была теплее северной или на основании какого-либо иного предположения. Как раз для ответа на этот вопрос и на ряд других, ***были поставлены опыты, продолжавшиеся шесть лет****. За это время было проделано несколько тысяч измерений. Каждая возмущающая причина, которую только можно было придумать, была исчерпывающим образом исследована. Среди этих причин были следующие: дневные и годичные изменения температуры, лучистое тепло, магнетизм, магнитострикция различия в силе тяжести, гиростатическое действие, влияние источника света, влияние, оказываемое прозрачной или непрозрачной покрышкой над частями прибора, где проходят лучи света, скорость и направление вращения, недостаточная уравновешенность прибора, положение наблюдателя относительно прибора и т. д. Постепенно и последовательно удалось показать, что наблюдаемое явление* ***не зависит от этих*** *причин».*

Есть ли все это голословное утверждение: «Я вполне уверен» предоставляем судить читателям. По поводу обработку наблюдений заметим следующее. Обработка опытного материала происходила с помощью гармонических анализаторов. Знакомые с практикой таких исследований знают, что даже при больших т. н. «случайных» отступлениях можно с поразительной точностью выделять и определять периодические [33] составляющие данного явления. Это именно и делал Дейтон Миллер, которого хотят изобразить невеждой!

---

[33] Проф. Т. П. Кравец, изучавший явления приливов и отливов на озере Байкале, рассказывал на том же V съезде в неофициальной части дискуссии, после закрытия заседания, как из кривой колебания уровня в озере при отдельных случайных колебаниях, доходивших до двух метров, гармонический анализатор выделял с полной несомненностью приливные

Заслуживает особенного внимания замечание А. Ф. Иоффе, что, так как, по его мнению, теория относительности так хорошо подтверждается данными астрономии, то он естественно с самого начала подходил с предубеждением к опытам Дейтона Миллера.

Чтобы не утруждать читателя длинными отступлениями об астрономических предсказаниях Эйнштейна, приведем выводы из критического обзора «блестящих оправданий» этих пророчеств, сделанного директором Русского Астрофизического Института проф. В. Г. Фесенковым [34]).

Первое предсказание: звезды вблизи диска солнца, во время полного затмения, должны быть по теории Эйнштейна определенным образом смещены. К какому выводу приходит проф. Фесенков, обсуждая результаты двух экспедиций 1919 и 1923 г.г.?

«Отсюда видно, что наблюденное смещение звезд около солнца во время затмений представляет из себя чрезвычайно сложное явление и ни в коем случае не может рассматриваться как подтверждение теории относительности».

Второе предсказание: смещение спектральных линий в спектре спутника Сириуса. К какому выводу приходит проф. Фесенков, анализируя данные Адамса?

«После необходимых поправок на скорость самого Сириуса в пространстве и на орбитальное движение спутника, оказалось, что спектральные линии последнего действительно смещены и притом даже больше, чем ожидалось согласно теории относительности. Все это бесспорно чрезвычайно интересно, ***но здесь несколько подозрительным является то обстоятельство, что эти „аномальные“ звезды всегда оказываются спутниками других более ярких звезд, и их спектр мало отличается от спектра главного тела. Невольно напрашивается предположение, что***

волны с амплитудой всего в пять сантиметров! Соотношение в десятки раз менее благоприятное, чем в опытах Миллера, но никто не делал упрека геофизикам в том, что постановка их опытов не дает возможности измерять приливы на озерах, потому что колебания, вызванные другими причинами, превосходят то, что подлежит измерению. Опять ответ прост: приливы и отливы никакого отношения не имеют к теории относительности, а опыты Дейтона Миллера!..

[34] «Вестник Коммунистической Академии», 13, 1925 г., стр. 200. Астрономические доказательства теории относительности.

они в значительной мере светят просто отраженным светом. В этом случае отпадает необходимость приписывать этим звездам необычайно большую плотность, а, следовательно, наблюдаемое смещение линий, установленное к тому же с некоторой натяжкой, отнюдь нельзя будет объяснить как эффект Эйнштейна».

Что же касается смещения линий в спектрах солнца и звезд, то там дело обстоит еще значительно хуже. Вот вывод, к которому приходит проф. Фесенков:

«Прямого доказательства реальности эффекта Эйнштейна здесь, однако, далеко еще нет. Наличие этого эффекта поставлено только в зависимость от характера конвекции в верхних слоях солнца, которая и должна быть тщательно изучена с теоретической и практической точек зрения».

Третье предсказание: объяснение неравенства в движении Меркурия, которое будто бы необъяснимо с точки зрения механики Ньютона (Зелигер давно уже дал это объяснение. *А. Т.*). А вот вывод, к которому приходит проф. Фесенков:

«Первая величина вполне соответствует указанной выше невязке, и потому (приверженцы теории относительности сделали поспешное заключение, что, наконец, найдено бесспорное доказательство справедливости взглядов Эйнштейна. Это заключение в корне не логично. Действительно, с одной стороны, движение Меркурия исследуется полностью с учетом притяжения всех планет; при этом находится общее смещение перигелия в 600'' с небольшой невязкой в 42'' в столетие. С другой стороны, применяется теория относительности в предположении, что Меркурий есть единственная планета и что он движется только под влиянием солнечного притяжения. При этом констатируется, что перигелий орбиты смещается как раз на ту величину, которая нам недостает в теории Ньютона. Рассуждение, очевидно, неправильно. Если классическая механика не верна, на нее не следует ссылаться совсем, а разобрать все планетные движения исключительно с точки зрения теории относительности. Это до сих пор сделано не было. Наконец, если бы мы могли согласиться с тем, что с перигелием Меркурия все благополучно, то для других планет нам все равно нужно было бы искать другого объяснения, так как, например, для Марса невязка гораздо больше того, что может дать теория относительности. Спрашивается, однако, можно ли назвать на-

учным такой подход к объяснению аналогичных явлений природы, когда для каждого явления придумывается особая причина?».

Вот, следовательно, что получается при внимательном рассмотрении знаменитых «пророчеств». С точки зрения академика А. Ф. Иоффе этих сомнений, которые высказывает проф. Фесенков (сомнения эти разделяются очень многими иностранными учеными), по-видимому, вообще не существует. А. Ф. Иоффе указал далее, что в «настоящее время известный физик экспериментатор Милликен заново производит опыты Дейтона Миллера по всем правилам научной техники!». К моменту писания этих строк мы можем сказать: мы этого уже дождались! Каковы же эти опыты, выполненные по всем правилам научной техники? Прежде всего их выполнил не сам Милликен, а Кеннеди, который работал в лаборатории у Милликена и который объявляет Милликену благодарность за его указания. Миллер довел длину световых лучей до 65 метров, у Кеннеди длина световых лучей… всего 4 метра! Следовательно, у Кеннеди объективная чувствительность прибора в 16 раз меньшая, чем у Дейтона Миллера! Максимальный эффект у Миллера выражался смещением полос интерференции эквивалентным 10,5 км/с с точностью ±0,6. При той чувствительности, какая была у Кеннеди, он должен был видеть наибольшее смещение так, как Миллер видел смещение в 10,5 км/с, то есть то, чего Миллер не видел! Словом, наибольший эффект Миллера должен был у Кеннеди объективно давать такое смещение какое Миллер уже не мог констатировать!

Для устранения этого Кеннеди перестроил прибор так, чтобы иметь возможность констатировать эти маленькие смещения, какие Миллер наблюдать не мог. Поставив ступенчатые пластинки для интерферометра и развив теорию, опирающуюся на психофизический закон Вебера – Фехнера и на существующие определения чувствительности глаза (!), Кеннеди полагает, что он все-таки в состоянии со своим прибором наблюдать эффект в четыре раза меньший, чем максимальная величина, наблюдавшаяся Миллером. Однако он ничего решительно заметить не мог. Справедливость, однако, требует заметить, что он и не делает того вывода, что данные Миллера не подтверждаются. Он только ограничивается одним замечанием, что смещение полос интерференции им не было замечено и что прибор необходимо перестроить с тем, чтобы… повысить его чувствительность!

Не так, видно, просто сделать то, что тонкими экспериментаторами делается в течение многих лет! Для всякого экспериментатора ясно, что мы имеем покушение с негодными средствами; строить расчеты на чувствительности глаза и на законе Вебера – Фехнера, в то время как объективно уменьшаешь чувствительность в 16 раз! Это плохой метод экспериментировать! Но, конечно, один слух об этом опыте доставит немалое удовольствие тем, у кого, по словам Ленина, «материя исчезает, остаются одни лишь уравнения» и немалый доход немалому количеству издателей дешевеньких книжек с изложением мнимых побед Эйнштейна.

Вот в общих чертах вокруг каких вопросов вращалась дискуссия об опытах Дейтона Миллера. При этом в настоящем изложении пришлось кое-что прибавить, так как и А. Ф. Иоффе в своей статье упоминал о вопросах, не затронутых им в дискуссии. Товарищи Г. и Е. недоумевают, почему докладчик не включил в свой доклад вопросов о философии теории относительности? А главным образом потому, что теперь весь вопрос заключается в том, доказаны ли те выводы, к которым приходит Дейтон Миллер или нет? В зависимости от этого будет стоять вопрос, вернемся ли мы и в этой области физики к здоровому материализму, к открытию новых форм материи – новых форм движения материи, или будем продолжать барахтаться в махистском море «чистого математического описания».

Спор на этой дискуссии – одна из первых стычек в развертывающейся сейчас борьбе. Теория относительности и теория квант привели к новой вспышке махизма. Для значительной части современных теоретиков и особенно русских «философия чистого описания» есть пока что единственная философия науки. Опыты Дейтона Миллера и теория световых квант Дж. Дж. Томсона [35]) наносят решительный удар этой философии. Махизм ведь процветает там, где еще мы мало знаем, где мы вынуждены временно ограничиваться формальным описанием. Махизм же эту постановку задачи считает за окончательное решение. В своей статье т.т. Г. и Е. воздают хвалу русским теоретикам за то, что они идут за Шредингером и отказы-

[35] Взгляды Томсона развиваются математиком Уиттекером и проф. Н. П. Кастериным у нас. Работы Томсона современные теоретики «квантисты» просто не упоминают. В дополнительном томе проф. О. Д. Хвольсона о них ни единого слова, хотя имеется много ссылок на работы, появившиеся позже томсоновых.

ваются принимать формальную теорию Гейзенберга. Но, во-первых, они забывают, что Гейзенберг герой прошлого года – в прошлом году им увлекались и русские теоретики, работы же Шредингера появились летом и осенью минувшего года, а потому он теперь герой дня. Во-вторых, методологически теория Шредингера столь же формальна, как и теория Гейзенберга. Волны, по этой теории не имеющие материального носителя, образуют электроны — материю. Это классическая иллюстрация к словам Ленина «попытка мыслить движение без материи». Все это доказывает только одно: не так-то легко, видно, отличать настоящую науку от махизма, не так-то легко предохранить себя от ослепления блестками «модной» и «новейшей» теории, построенной на старенькой философии «чистого описания».

«Под знаменем марксизма», 1927 г., № 2–3, стр. 178–187. http://bit.ly/i5PcEf

11. Р. Дж. Кеннеди. Усовершенствование эксперимента Майкельсона–Морли (1926)

Рой Дж. Кеннеди, Калифорнийский технологический институт, National Research Fellow in Physics

A refinement of the Michelson-Morley experiment Roy J. Kennedy California Institute of Technology

Исследование, которое является предметом настоящей статьи, было предпринято для проверки результатов, представленных недавно профессором Д. К. Миллером в результате повторения им эксперимента Майкельсона–Морли. Проф. Миллер интерпретировал свои наблюдения как указывающие на движение Солнца сквозь эфир со скоростью не менее, чем 200 км/с в направлении прямого восхождения 262° и склонения 65°. Он полагает, что сокращение размеров аппарата в направлении движения происходит, но отличается, однако, от того значения, которое дается формулой Лоренца и Фицжеральда, на величину, соответствующую скорости около 10 км/с. Это рассчитано из среднего смещения интерференционной картины при повороте плеча интерферометра через 90° к направлению, перпендикулярному или параллельному направлению предполагаемого эфирного ветра, если бы скорость аппарата составляла 10 км/с, а сокращение размеров не было бы. В своей статье в *Science* 30 апреля 1926 г. он пытается восстановить заброшенную идею о том, что означенная скорость зависит от высоты над уровнем моря, на которой проводятся наблюдения. Такие результаты, как у него, видоизменяющие фундаментальные физические концепции, требуют более полных экспериментальных подтверждений.

В соответствии с классическими гипотезами эфира хорошо известная теория эксперимента предсказывает, что смещение интерферометрической картины будет пропорциональным длине путей, проходимых интерферирующими лучами. Для того чтобы сделать наблюдаемыми малые скорости, проф. Миллер применил большой

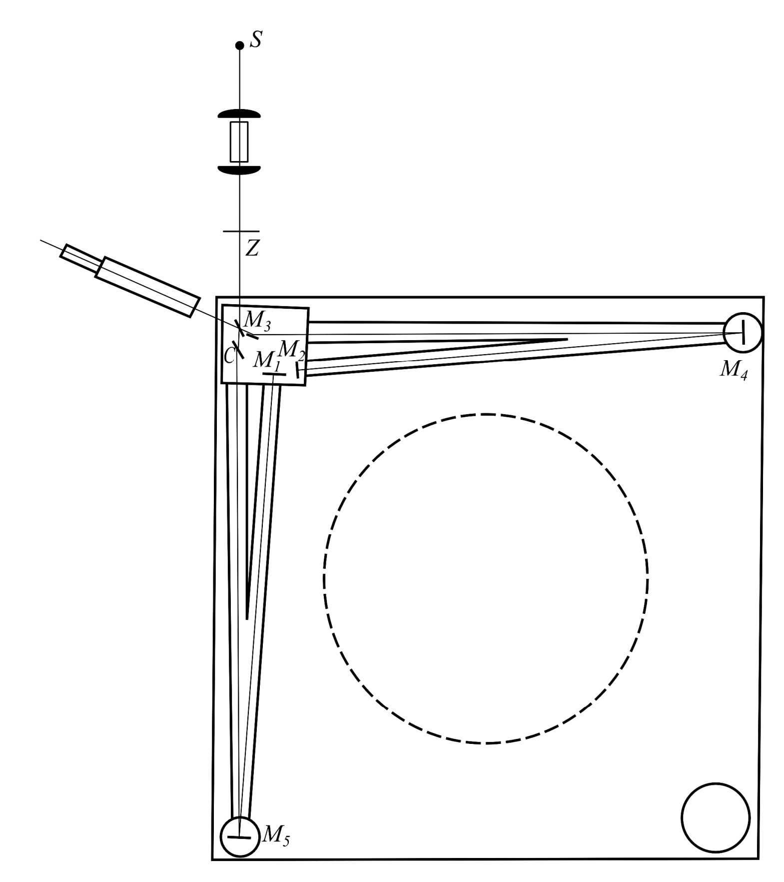


Рис. 11.1. Схема интерферометра Кеннеди в плане

интерферометр, в котором путь света составлял около 65 м. Трудность, содержащаяся в необходимости освобождения от влияния воздушных потоков и температурных эффектов с таким крупным инструментом, может быть оценена, если учесть, что смещение, соответствующее скорости в 10 км/с, может быть внесено изменением длины оптического пути менее, чем одной частью из 10^9 (то есть 10^{-9} длины оптического пути – *В.А.*). Такой пустяк, как разность в средней плотности воздуха вдоль двух плеч, которую вызвала бы разность в давлении в $2{\cdot}10^{-3}$ мм рт. ст. или разность температур в 10^{-3} °С, вызвал бы такое же изменение наблюдаемой величины.

В настоящей работе световые пути были уменьшены примерно до 4 м, а требуемая чувствительность получена благодаря способности специального приспособления выделять очень малые смещения интерференционной картины. Вся оптическая система была ***заключена в закрытый металлический корпус*** (*выделено мной – В.А.*) (sealed metal case), содержащий гелий под атмосферным давлением. Благодаря малым размерам аппарат может быть эффективно изолирован, и циркуляции и вариации плотности газа в оптических путях практически исключены. Кроме того, поскольку величина $\mu-1$ для гелия составляет всего примерно одну десятую той же величины для воздуха, можно видеть, что нарушающие эффекты изменений плотности газа при атмосферном давлении будут соответственно в десять раз меньше, чем для воздуха. И действительно, было найдено, что дрожание интерференционной картинки было незначительным, и когда устанавливалось температурное равновесие, устойчивое смещение отсутствовало.

Схема аппарата в плане приведена на рис. 11.1. Оптические части смонтированы на мраморной плите квадратной формы со стороной 122 см и толщиной 10,5 см, которая покоилась на кольцеобразном поплавке, помещенном в чан с ртутью, имеющий диаметр в 77 см. Это просто уменьшенная копия первоначальной установки Майкельсона. Зеркала M_1, M_4, и M_5 зафиксированы в определенном положении; такие приспособления, как компенсационная пластина C и зеркало M_2, необходимо установить из положения наблюдателя у телескопа после того, как крышка будет поставлена на свое место. Зеленый свет с длиной волны λ = 5461 от маленькой ртутной дуговой лампы, прикрепленной к плите, выделялся с помощью системы линз и призм и пропускался через малое отверстие в экране Z. Лучи света тщательно ограничивались экранами и фокусировались с тем, чтобы предотвратить случайное попадание света в глаз и вследствие этого – уменьшение его чувствительности. Корректировки были выполнены так, что четкие линии формировались на поверхности M_1 и M_2, на которые фокусировался телескоп. Окончательные корректировки осуществлялись поворотом компенсационной пластины C с помощью точного дифференциального винта и помещения малых гирек около угла плиты; при таких условиях вес 5 г изменял положение тяжелой плиты вполне заметно. Регулировочные винты приводились в движение с помощью валиков, проходящих через короткие гибкие трубки, обеспе-

чивающие свободное вращение, но не пропускающие воздух. После того как зеркала были предварительно выставлены, крышка осторожно устанавливалась на место, герметизируя плиту, а затем пространство под крышкой заполнялось гелием.

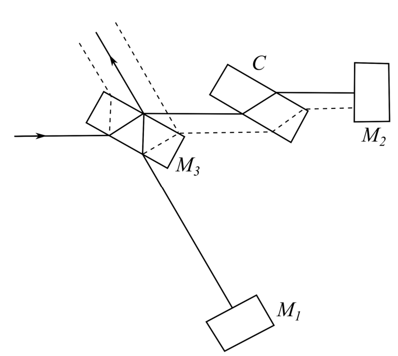


Рис. 11.2. Прохождение лучей света в интерферометре

Схематически расположение частей интерферометра показано на рис. 11.2. Луч практически плоскопараллельного однородного света плоско поляризуется так, что его электрический вектор лежит в плоскости рисунка, двигается вправо и падает на зеркало M_3 под углом поляризации для данной длины волны. На верхней поверхности луч расщепляется с помощью тонкой платиновой пленки на две части примерно одинаковой интенсивности, одна пропускается к зеркалу M_1, а вторая к M_2. Оттуда они отражаются назад к M_3, где складываются и пропускаются в телескоп, сфокусированный на M_1 и M_2.

Применением плоскополяризованного света достигаются две цели: первая та, что не интерферирующие лучи, показанные пунктирной линией, которые получались бы с естественным светом, полностью исключаются, и вторая та, что складывающиеся лучи могут быть отрегулированы так, чтобы улучшить интенсивность при различной относительной отражательной способности M_1 и M_2. Поскольку для верхнего луча существует на два перехода стекло–воздух больше, чем для нижнего, выровнять обе компоненты естественного света таким путем невозможно.

Высокая чувствительность, необходимая из-за короткого пути света, обеспечена, главным образом, простым устройством для возвышения одной половины зеркала M_2 над другой на малую долю длины волны света, разделяющая линия между двумя уровнями прямая и четкая настолько, насколько это возможно. Зеркало было выполнено путем покрытия части стеклянной плоской пластины плоским с резко очерченными краями микроскопическим покровным стеклом и применением дополнительного слоя платины, нанесенного методом катодного напыления, после чего вся пластина давала полное отражение. Автору встречались предложения о при-

менении такого разделенного зеркала в интерферометрии несколько лет тому назад, но он не знает, кому эта идея принадлежит.

Теория приспособления следующая. Явление интерференции будет таким же, как если бы зеркало M_2 было заменено его изображением в M_3. В условиях эксперимента, в котором пути почти равны, M_1 перпендикулярно лучу, падающему на него, и отраженные лучи переносят изображение почти параллельно, изображение M_2 будет почти параллельно и совпадать с поверхностью M_1. Элементарная теория показывает, что результирующая интерференционная картина будет практически совпадать с M_1. Целесообразно дополнить это рассуждение развитием общей теории интерференции на все отклонения зеркал; экспериментальное обеспечение близкого параллелизма совершенно необходимо.

На рис. 11.3 показаны сильно увеличенные поперечное сечение M_1 и изображение M_2, нормальные к их плоскостям и к разделяющей линии в M_2. M_1 лежит в плоскости $x = 0$, а уровни M_2 находятся на равном расстоянии на противоположных сторонах от параллельной плоскости, находящейся на расстоянии x от M_1. Предположим, что монохроматическая волна, в которой смещение дано выражением

$$\xi = a \cos \omega \left(t + \varepsilon - \frac{x}{c} \right),$$

падает на M_1 и M_2 слева. На поверхности M_1 смещение отраженной волны составит

$$\xi_1 = a \cos \omega (t + \varepsilon),$$

Рис. 11.3. Схематическое представление сечения ступенчатого зеркала

если мы пренебрежем потерями несовершенного отражения. Смещение в плоскости M_1 в волне, отраженной от верхней части M_2 равно

$$\xi_2 = a\cos\omega\left[t+\varepsilon-\frac{2(x-\alpha)}{c}\right].$$

Квадрат результирующего смещения составит

$$(\xi_1+\xi_2)^2 = a^2\left\{\cos\omega(t+\varepsilon)+\cos\omega\left[t+\varepsilon-\frac{2(x-\alpha)}{c}\right]\right\}.$$

Это выражение может быть преобразовано к виду

$$2a^2\left[1+\cos\frac{2\omega}{c}(x-\alpha)\right]\cos^2\omega(t-\delta).$$

Подобный же квадрат результирующего смещения в интерферирующих лучах ниже разделяющей линии находится как

$$2a^2\left[1+\cos\frac{2\omega}{c}(x+\alpha)\right]\cos^2\omega(t-\delta).$$

Интенсивность, пропорциональная квадрату амплитуды, может быть представлена в виде

$$I_1 = ka^2\left[1+\cos\frac{2\omega}{c}(x-\alpha)\right]$$

$$I_2 = ka^2\left[1+\cos\frac{2\omega}{c}(x+\alpha)\right].$$

Здесь $\omega = 2\pi\nu$, где ν — частота света. Следовательно, $\frac{\omega}{c}=\frac{2\pi}{\lambda}$;

$$I_1 = ka^2\left[1+\cos\frac{4\pi}{\lambda}(x-\alpha)\right]; \quad I_2 = ka^2\left[1+\cos\frac{4\pi}{\lambda}(x+\alpha)\right].$$

Для величин $x=\frac{n\lambda}{4}$, где n — целое число,

$$I_1 = ka^2\left(1\pm\cos\frac{4\pi\alpha}{\lambda}\right),$$

знак «+» для четных значений n и «–» для нечетных значений. Таким же выражением определится I_2, поэтому для этих условий $I_1 = I_2$.

Следовательно, для наблюдателя поле зрения по обе стороны от разделяющей линии будет иметь равную интенсивность при $x = \frac{n\lambda}{4}$.

Теперь нам нужно определить минимальное изменение x, которое произведет ощутимое различие в освещенности обеих сторон поля. Если x даст вариацию δx пока α есть константа, то разница интенсивности составит

$$\delta I = \left(\frac{\partial I_1}{\partial x} - \frac{\partial I_2}{\partial x} \right) \delta x.$$

Далее

$$\frac{\partial I_1}{\partial x} = \frac{4\pi k a^2}{\lambda} \sin \frac{4\pi}{\lambda}(x - \alpha) = \pm \frac{4\pi k a^2}{\lambda} \sin \frac{4\pi\alpha}{\lambda}.$$

Подобным же образом

$$\frac{\partial I_2}{\partial x} = \pm \frac{4\pi k a^2}{\lambda} \sin \frac{4\pi\alpha}{\lambda};$$

$$\delta I = \pm \left[\frac{8\pi k a^2}{\lambda} \sin \frac{4\pi\alpha}{\lambda} \right] \delta x,$$

знак не имеет значения.

Распознаваемая вариация предопределена не только величиной δI, но также и отношением δI к полной интенсивности I_1 или I_2. В соответствии с законом Вебера–Фехнера, если δI дана как наименьшая ощутимая вариация интенсивности, приведенное выше отношение почти постоянно для широкого диапазона интенсивности. При таком значении $\delta I, \delta x$ получаем как наименьшее обнаруживаемое изменение положения M_2.

Если мы первоначально имеем неизменное освещение, то из приведенных выше выражений получим

$$\frac{\delta I}{I}=\frac{8\pi}{\lambda}\delta x\frac{\sin\frac{4\pi\alpha}{\lambda}}{1\pm\cos\frac{4\pi\alpha}{\lambda}} \quad \text{или} \quad \delta x=\frac{\lambda}{8\pi}\frac{\delta I}{I}\frac{1\pm\cos\frac{4\pi\alpha}{\lambda}}{\sin\frac{4\pi\alpha}{\lambda}}.$$

Если теперь $\frac{\delta I}{I}$ и в самом деле постоянно, то для случая знака «$-$», соответствующего темному освещению поля, мы должны иметь неопределенно возрастающую чувствительность по мере уменьшения фактора α. К несчастью, однако, I уменьшается с уменьшением α, а фехнеровская «константа» вскоре также быстро уменьшается. Тем не менее, условия освещения и контрастность здесь подобны тем, которые имеются в полутеневом поляриском, а из теории инструмента Липпиха следует, что $\frac{\delta I}{I}$ примерно равна $8\cdot 10^{-3}$. Недостаточное совершенство плоскостей зеркал и неодинаковость интенсивности интерферирующих лучей являются следующим ограничивающим фактором; небольшое экспериментирование показало, что α должно быть не меньшим, чем $0{,}025\lambda$, что и было в конце концов применено. Подставляя эту величину в последнее выражение, мы получили $\delta x=5\cdot 10^{-5}\lambda$ как наименьшее определяемое изменение в положении зеркал. Это соответствует изменению оптической длины пути

$$\delta l=2\delta x=10^{-4}\lambda.$$

Чтобы наиболее полно использовать возможности приспособления потребовались бы более совершенные зеркала и более интенсивный и, следовательно, более горячий источник света, чем это было бы желательно вблизи чувствительного аппарата, так же как удлинение интервалов между наблюдениями, таким образом, допуская больше возможности проявить себя любым устойчивым температурным изменениям. Поэтому в эксперименте не нужно снижать значение δl более, чем до $2\cdot 10^{-3}\lambda$; такие вариации обнаруживались без каких-либо сомнений.

Теория эксперимента Майкельсона–Морли рассматривались слишком часто, чтобы было необходимо обсуждать ее здесь. В общем, при повороте аппарата через прямой угол интерференционная картина должна сместиться так, как если длина одного из оптических путей изменится на часть длины волны, максимум чего составит

$$\delta l = \frac{l}{\lambda}\frac{v^2}{c^2}\cos^2\beta. \qquad (1)$$

Здесь v — это скорость аппарата относительно эфира; l — длина светового пути; β — угол между плоскостью аппарата и направлением движения.

Предположим, что в системе прямоугольных координат x_1, x_2, x_3, зафиксированных относительно эфира, направляющие косинусы вектора скорости ожидаемого эфирного дрейфа есть $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, причем направляющие косинусы нормали к плоскости аппарата есть $\alpha'_1, \alpha'_2, \alpha'_3$. Тогда угол между двумя линиями будет определяться как

$$\cos\theta = \Sigma\alpha_i\alpha'_i (i = 1,2,3). \qquad (2)$$

Итак, $\alpha_j = \dfrac{x_j}{(\Sigma x_i^2)^{1/2}}$ и

$$\alpha'_j = \frac{x'_j}{(\Sigma x'^2_i)^{1/2}} \qquad (3)$$

В декартовых координатах подходящей ориентации

$$x_1 = r\cos\psi\,\cos\varphi$$
$$x_2 = r\sin\psi$$
$$x_3 = -r\sin\varphi\cos\psi$$

где φ — прямое восхождение и ψ — склонение точки, в которой данное направление пересекает небесную сферу. Такая же система уравнений получена для величин x' с углами φ' и ψ'. Подставляя эти соотношения в уравнения (3) и результирующие соотношения в уравнение (2), мы получим

$$\cos\theta = \cos\psi \cos\psi' \cos(\varphi - \varphi') + \sin\psi \sin\psi'. \qquad (4)$$

Угол β в формуле (1), очевидно, дополняет θ, так что δl максимально, когда $\cos\theta$ минимален. Из (4) видно, что это происходит, когда

$$\varphi' = \varphi + \pi n,$$

n нечетно. Подставляя эту величину и учитывая, что $\psi' = 34^\circ 8'$, широта Пасадены, вместе с величиной $\varphi = 262^\circ$ и $\psi = 65^\circ$, определенными Миллером, в уравнение (4), получим минимум $\cos\theta$, примерно равный 0,15; соответственно максимум $\cos\beta$ весьма близок к единице. Это получается при сидерическом времени, равном $\frac{1}{15}\varphi' = \frac{262-180}{15} = 5{,}5$ ч., которое в средние две недели сентября, когда настоящая статья была закончена, соответствовало значению сидерического времени от 5.30 до 6.30 утра.

Если в уравнении (1) $l = 400$ см, $v = 10^6$ см/с, $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/с, $\lambda = 5{,}46 \cdot 10^{-5}$ см и $\cos\beta = 1$, мы найдем то максимальное смещение полос, которое можно ожидать в таком аппарате, соответствующее изменению в одном оптическом пути:

$$\delta l = 8 \cdot 10^{-3} \text{ длины волны,}$$

что в четыре раза меньше определяемого значения.

Эксперимент был выполнен в лаборатории Норман Бридж, в комнате с постоянной температурой, в различное время дня, но чаще в то время, для которого вычисления Миллера предсказывали наибольший эффект. Во время каждого эксперимента была проверена чувствительность глаза помещением или снятием малого груза на плиту перед и после ее поворота. В поле зрения не было флуктуаций, не было необходимости усреднять отсчеты. Как было показано, смещение было меньше одной четвертой того, которое, как сообщил Миллер, было замечено. Результат был совершенно определенным. Не было признаков того, что смещение зависит от ориентации.

Поскольку эфирный ветер может предположительно зависеть от высоты, эксперимент был повторен в обсерватории Маунт Вилсон в здании 100-дюймового телескопа. Здесь снова эффект был нулевым.

Имеется намерение провести систематические поиски эфирного дрейфа в ином направлении после того, как аппарат подвергнется небольшим усовершенствованиям в целях увеличения его чувствительности и удобства многочисленных наблюдений, что необходимо.

Автор много обязан д-ру Р. А. Милликену, который проявил интерес и сделал возможными эти исследования.

Proc. Nat . Ac. of USA. 1926. Vol 12. P. 621–629.

12. К. К. Иллингворт. Повторение эксперимента Майкельсона–Морли с использованием усовершенствования Кеннеди (1927)

A repetition of the Michelson–Morley experiment using Kenndy's refinement. K.K.Illingworth

Аннотация. Эксперимент по эфирному ветру, выполненный Кеннеди с помощью уменьшенной в размерах оптической системы, заполненной гелием, был повторен с тем же, но несколько усовершенствованным аппаратом, и были получены те же результаты. Усовершенствование интерферометра заключалось в новом покрытии зеркал серебром так, чтобы сдвиг полос в 1/1500 мог быть замечен наблюдателем с хорошим зрением, а в 1/500 – наблюдателем со слабым зрением. Были сделаны дополнительные отсчеты, которые исключили постоянные температурные сдвиги полос, и они не показали наличия какого-либо эфирного ветра с точностью примерно до 1 км/с.

В недавней работе[36] д-р Р.Дж. Кеннеди, научный сотрудник Калифорнийского технологического института, описал модификацию интерферометра Майкельсона и его применение в эксперименте по обнаружению эфирного ветра. Эта модификация заключалась в наличии маленькой ступеньки толщиной в 1/20 длины волны света в одном из общих отражающих зеркал интерферометра. Цель настоящего исследования заключается в изучении чувствительности, получаемой методом Кеннеди, и дальнейшим изучением существования эфирного ветра с помощью аппарата Кеннеди. Эта работа была выполнена в подвальной комнате с постоянной температурой в физической лаборатории Норман Бридж. Плот, зеркала и источник света, а также методы регулировки остались теми же, которыми пользовался Кеннеди. Зеркала были вмонтированы в стальные и латунные опоры, расположенные на мраморной плите, имеющей форму квадрата со стороной 4 фута. Латунный корпус включал в себя зеркала и световые пути, так что эти пути

---

[36] Kennedy, Nat. Acad. Sci. Proc. 12, 621-629 (1926).

могли быть заполнены гелием или откачаны по желанию. Гелий использовался в связи с тем, что он имеет малый коэффициент преломления, так что изменения из-за вариаций температуры сокращаются до значений, которыми можно пренебречь. Три зеркала, которые использовались ранее, пришлось посеребрить заново, так как они потускнели из-за окисления, а два, которые имели платиновые поверхности, в этом не нуждались.

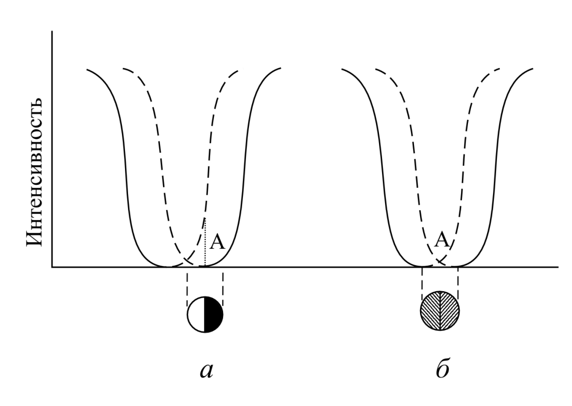


Рис. 12.1. Иллюстрация полутеневого метода локализации положения интерференционных полос. По оси абсцисс — смещение полос; по оси ординат — интенсивность освещенности поля зрения; внизу условный вид двух полей зрения — при разной освещенности половинок поля (а) и при одинаковой (б).

Одно из платиновых зеркал имело ступеньку высотой примерно в 1/20 длины волны зеленого цвета. Свет от источника был сфокусирован на этом зеркале со ступенькой, на нем же были сформированы полосы, и был сфокусирован наблюдательный телескоп. Из-за малой разницы в оптическом пути в двух половинках ступенчатого зеркала образуется небольшая прерывистость между системами полос с каждой стороны ступени; обе системы сдвинуты по фазе на 1/10 полосы. В целом это приводит к сильному изменению яркости на ступени *А*, как показано на рис. 12.1 (а), где представлены распределения энергии в системах полос вблизи ступеньки. Если, однако, полосы смещены относительно ступени, как показано на рис. 12.1 (б), то в *А* не возникает прерывистости в яркости. Следовательно, когда телескоп сфокусирован на небольшой области в непосредственной близости к ступеньке, можно наблюдать два варианта полей зрения, как показано в небольших кружках сразу под *А* на каждом графике. В случае 12.1 (а) две половинки поля освещаются неравномерно и разграничены четкой линией, тогда как в случае 12.1 (б) обе половинки поля освещаются одинаково. Это равенство двух половинок поля дает

очень чувствительный способ для определения точного положения полос, так как сдвиг на 1/20 полосы изменит поле от равной яркости на обеих сторонах до нуля на одной стороне и до яркости в несколько раз большей по сравнению с начальной яркостью, на другой. Количественная теория изменения яркости при небольших сдвигах была детально разработана Кеннеди.

Для экспериментального определения чувствительности при таком устройстве был применен метод Кеннеди по искривлению мраморной плиты путем размещения небольших грузов на одном ее углу. Прямое движение компенсирующего зеркала вызывало слишком значительное смещение полос и не могло быть установлено точно. Подбирая груз, который требовался для искривления мраморной плиты для изменения интерференционной картины на измеряемую часть полосы, можно было вычислить пропорционально вес груза, требуемый для сдвига картины на целую полосу. Это было сделано с допущением, что закон Гука остается в силе для небольших значений прилагаемой силы. Для этого случая было определено, что 7,500 г, расположенных в определенной точке на плите, сдвигают интерференционную картинку на одну полосу. Аппарат затем регулируется таким образом, чтобы яркость на ступени была одинаковой (*в поле зрения — В. А.*) и не было видно линии раздела. Другими словами, обе системы устанавливаются так, как это показано на рис. 12.1*б*. Часть полосы, действительно наблюдаемая, была настолько малой, что обе половины поля были хорошо выровнены. С помощью наименьшего веса, производящего заметное изменение яркостей двух половинок поля, когда его положат в определенной точке, измеряют чувствительность или наименьший сдвиг полос, который может быть определен.

В связи с тем, что чувствительность этого метода зависит от минимальной разницы в яркости, которую только может ощутить наблюдающий, чувствительность определялась пятью сотрудниками из штата лаборатории. Во время проведения испытаний наблюдатель не мог видеть тех разновесов, которые добавляются или убираются. Чувствительность глаз наблюдателей была определена как соответствующая минимальному весу, устранение или добавление которого наблюдатель мог отличить правильно в 9 случаях из 10. В табл. 1 приводятся значения чувствительности глаз пяти наблюдателей в единицах добавленных граммов и соответствую-

щий сдвиг полос. В последней колонке дается скорость эфирного ветра, соответствующая этим сдвигам.

***Таблица 1*. Чувствительность интерферометрической системы, определенная пятью наблюдателями**

Наблюдатель	Минимальный определяемый вес, г	Часть полосы	Скорость эфирного ветра, км/с
A	15	0,002	5,0
B	15	0,002	
C	5	0,0007	3,0
D	5	0,0007	
E	25	0,0035	6,6

Оригинальный метод Кеннеди по наблюдению за эфирным ветром был использован в конце июня, когда ожидались стабильные температурные условия, чтобы аппарат мог вращаться на 90° и обратно в начальное положение без существенного изменения яркости двух половинок поля зрения. Во всех случаях наблюдающий начинал смотреть на север, затем аппарат поворачивался на запад, потом опять на север. В 13 случаях в течение 10 дней было возможно выполнить вышеприведенные условия. Ни в одном случае, когда условия были выполнены и когда аппарат поворачивался с севера на запад, нельзя было наблюдать сдвиг более чем 0,002 полосы, который бы зафиксировал эфирный ветер больше 5 км/с.

В связи с тем, что было трудно получить стабильные температурные условия, было решено использовать метод, который исключает эффект устойчивого смещения из-за температурных изменений. На вертикальной стойке, прикрепленной к мраморной плите, было установлено большое количество грузов по 14 г в точке, в которой проводились предыдущие измерения чувствительности. После того как поле зрения было точно сбалансировано, отмечалось, сколько грузов было убрано или добавлено для того, чтобы все было сбалансировано снова после поворота на 90°. Таким образом было возможно получить цифровые отсчеты для определения сдвига полос по мере продолжения вращения и получить среднее значение отсчетов таким образом, что даже малейшие сдвиги эфира могли бы быть обнаружены с большой точностью. Этот метод имеет преимущество и в том, что невозможно для наблюдателя попасть под влияние предвзятости.

Во время первых 10 дней июля был сделан ряд наблюдений по следующей программе. Каждый день в 11, в 17 часов или в 5 часов утра и в 23 часа аппарат поворачивался на 20 оборотов, и отсчеты проводились через каждые 90°. Во время первых 10 оборотов наблюдающий останавливал аппарат и делал отсчеты, когда он смотрел на север, запад, юг, восток и север. Отсчеты делались через каждые 30 с. Во время последних 10 оборотов направления изменялись на северо-восток, северо-запад, юго-запад, юго-восток и северо-восток.

В табл. 2 даются отсчеты, проведенные в 11 часов утра 9 июля для положений С, Ю, В, З и С, типичные для всех сделанных отсчетов. Числа представляют полное число грузов, пропорциональных смещению полос, которые убирались после того, как аппарат был повернут от исходного положения с направлением на север. Один груз соответствует 1/500 части полосы.

***Таблица 2.* Отсчеты, сделанные для положений С, Ю, В, З и С в 11.00 9 июля 1927 г.**

Числа представляют общее число грузов, удаленных для балансирования системы. Один груз соответствует 1/500 полосы.

С	В	Ю	З	С
0	-3	-7	-12	-17
0	-5	-10	-15	-19
0	-4	-9	-14	-19
0	-4	-9	-14	-19
0	-4	-8	-13	-20
0	-8	-14	-19	-23
0	-5	-10	-14	-17
0	-5	-8	-12	-17
0	-4	-9	-14	-18
0	-4	-9	-13	-18
Среднее 0	**-4,6**	**-9,3**	**-14,0**	**-18,7**

Среднее СЮС = -9,33
Среднее ВЗ = -9,30
-0,03 —Среднее смещение вследствие ориентации, в числах масс.

Как будет показано, этот метод усреднения исключает влияние устойчивых температурных смещений. Результаты смещений за 10

дней приведены в табл. 3. Каждое значение в табл. 3 представляет смещение полос при различной ориентации, определенное для серии отсчетов для 10 оборотов, подобно тому, что представлено в табл. 2.

Таблица 3. **Итоговые результаты.**

	5:0		11:00		17:00		11:00	
	СЮ-ВЗ	СЗ, ЮВ-ЮЗ, СВ	СЮ-ВЗ	СЗ, ЮВ-ЮЗ, СВ	СЮ-ВЗ	СЗ, ЮВ-ЮЗ, СВ	СЮ-ВЗ	СЗ, ЮВ-ЮЗ, СВ
	+0,12	−0,33	+0,35	−0,11	+0,12	+0,22	−0,05	+0,12
	+0,57	+0,12	−0,21	−0,18	−0,28	−0,23	+0,09	+0,09
	0,00	0,00	−0,03	−0,26	−0,72	−0,40	−0,63	−0,03
	+0,10	−0,22	−0,15	+0,06	−0,08	+0,02	−0,22	−0,13
	+0,32	0,00	−0,11	+0,19	+0,09	+0,08	0,00	+0,12
	−0,01	−0,05	+0,24	+0,10	+0,15	+0,15	−0,20	−0,02
			−0,07	−0,03	+0,15	+0,07		
			−0,03	+0,02	+0,18	−0,18		
			−0,03	+0,08	+0,03	−0,03		
			0,00	+0,12	−0,05	+0,05		
Среднее смещение в числах масс	+0,18	−0,08	−0,004	−0,001	−0,041	−0,025	−0,17	+0,025
Смещение полос	+0,00036	−0,00016	−0,000008	−0,000002	−0,000082	−0,000050	−0,00034	+0,000050
Вероятная погрешность	0,00012	0,000090	0,000073	0,000060	0,00012	0,000082	0,00014	0,000056
Скорость эфира в км/с	+2,1	−1,41	−0,32	−0,16	−1,0	−0,79	−2,1	+0,79
Смещение полос для результатов Миллера	0,003	0,005	0,008	0,000	0,003	0,005	0,002	0,000

В табл. 3 скорость эфира вычисляется по хорошо известной формуле, которая для размеров использованного в нашем случае интерферометра упрощается до $V = 112D^{1/2}$, где D — смещение полос, вызванное поворотом на 90°. Были вычислены возможные погрешности для отклонений значений, указанных в табл. 3, от средних. Смещения полос, которые можно наблюдать на использованном оборудовании для определения скорости эфирного ветра, как это описано Миллером, вычислялись из данных, приведенных в работах Миллера [37] и Кеннеди. Скорость эфирного ветра, по описанию Миллера, достигает максимума через 5,5 ч после звездного полудня. Максимум приходится примерно на 11 часов дня того времени года, когда были сделаны отсчеты.

Для 11:00 и 17:00, когда было сделано самое большое число отсчетов и когда контроль за температурой был наиболее удовлетво-

37 Miller, Science April 30, 1926.

рительным, вероятная погрешность, как показано в табл. 3 соответствовала скорости эфирного ветра примерно 1 км/с. Для 23:00 и 5:00, когда было сделано наименьшее число отсчетов и когда температурные условия были неустойчивыми, вероятная погрешность соответствует несколько большей скорости. Поскольку более чем в половине случаев наблюдаемый сдвиг меньше, чем вероятная погрешность, настоящую работу нельзя рассматривать как указывающую на эфирный ветер с точностью 1 км/с. Это несколько больше 1/10 скорости, найденной Миллером. В величинах смещения полос, значение которых непосредственно наблюдалось, настоящая работа показывает, что для наиболее надежных 11:00 и 17:00 часов среднее значение смещения никогда не превышало 1/100 максимального, составляющего 0,008 и вычисленного из миллеровских наблюдений. И даже наибольший отсчет в 5:00 дает только 1/22 этого значения.

Физическая лаборатория Норман Бридж.

Калифорнийский технологический институт, 15 августа 1927 г.

Physical Review. 1927. Vol 30, November. P. 692–696.

13. Конференция по эксперименту Майкельсона–Морли, состоявшаяся в обсерватории Маунт Вилсон, г. Пасадена, Калифорния, 4 и 5 февраля 1927 г.

Conference on the Michelson–Morley experiment. [38] Held at the Mount Wilson Observatory, Pasadena, California, February 4 and 5, 1927.[*]

Присутствие проф. А.А.Майкельсона и проф. Г.А.Лоренца в Пасадене в первых месяцах 1927 г. оказалось исключительно своевременным для проведения конференции по теоретическому и практическому аспектам эксперимента Майкельсона–Морли. Поскольку профессор Майкельсон планировал совместно с обсерваторией Маунт Вилсон повторить эксперимент, проведение этой конференции было особенно желательно. Большую инициативу в этом отношении проявил доктор Чарльз Э.Сент–Джон. Экспериментальная часть была представлена доктором Р.С.Кеннеди. Профессор Э.Р.Хедрик представил математический расчет светового пути, выполненный им совместно с проф. Л. Ингольдом, присутствовавший профессор П.С.Эпштейн привел расчет эксперимента Троутона–Нобля, недавно повторенного Чей-

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL

AN INTERNATIONAL REVIEW OF SPECTROSCOPY AND ASTRONOMICAL PHYSICS

VOLUME LXVIII DECEMBER 1928 NUMBER 5

CONFERENCE ON THE MICHELSON-MORLEY EXPERIMENT[1]

HELD AT THE MOUNT WILSON OBSERVATORY PASADENA, CALIFORNIA FEBRUARY 4 AND 5, 1927

The presence of Professor A. A. Michelson and Professor H. A. Lorentz in Pasadena in the early months of 1927 offered an exceptional opportunity for a conference on the theoretical and practical aspects of the Michelson-Morley experiment. Since Professor

Начало статьи со стенограммой конференции

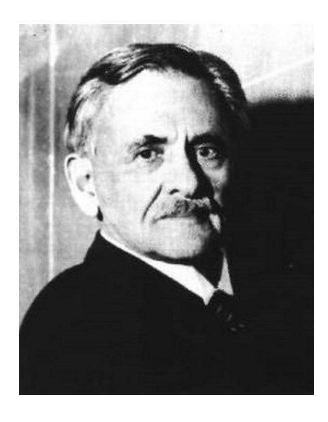
[38] 1 Contributions from the Mount Wilson Observatory, Carnegie Institution of Washington, No. 373.

[*] Conference on the Michelson–Morley Experiment Held at Mount Wilson, February, 1927. Authors: Michelson, A. A., Lorentz, H. A., Miller, D. C., Kennedy, R. J., Hedrick, E. R., & Epstein, P. S., Journal: Astrophysical Journal, vol. 68, p.341. http://bit.ly/hrjag3 — *Прим. ред.*

сом[**] в Калифорнийском технологическом институте, а также другими экспериментаторами. После основных представленных докладов состоялась дискуссия. Доктором Фрицем Цвики (Dr. Fritz Zwicky) и Гленом Х.Пальмером (Glenn H. Palmer) из Калифорнийского института были представлены короткие заметки. Все они были просмотрены авторами.

Выступления проф. Майкельсона и Лоренца были посвящены детальному изложению результатов, полученных профессором Д.К.Миллером, который, к счастью, также смог присутствовать.

I. Профессор А. А.Майкельсон, Чикагский университет



В 1880 году я впервые задумался над возможностью измерения оптическим способом скорости w движения Земли в Солнечной системе. Ранние попытки обнаружить эффекты первого порядка основывались на идее движения системы сквозь стационарный эфир. Эффекты первого порядка пропорциональны w/c, где c — скорость света. Исходя из представлений о любимом старом эфире (который теперь заброшен, хотя я лично еще его придерживался), ожидалась одна возможность, а именно, что аберрация света должна быть различной для телескопов, заполненных воздухом или водой. Однако вопреки установленной тогда теории света эксперименты показали, что такой разницы не существует.

Теория Френеля первая объяснила этот результат. Френель предположил, что вещество захватывает эфир частично (увлечение эфира), придавая ему скорость w', так что $w' = \rho w$. Он определил ρ — коэффициент Френеля через показатель рефракции μ:

[**] Carl T. Chase. The Trouton–Noble ether drift experiment. Phys. Rev. 30, 516–519 (1927). — *Прим. ред.*

$\rho = \frac{\mu^2 - 1}{\mu^2}$. Этот коэффициент легко получается из отрицательного результата следующего эксперимента. Два световых луча пропускаются вдоль пути (рис. 13.1: 0, 1, 2, 3, 4, 5) в противоположных направлениях и создают интерференционную картину. I — это труба, заполненная водой. Если теперь вся система движется со скоростью w сквозь эфир, при перемещении трубы из положения I в положение II должно наблюдаться смещение интерференционных полос. Смещение же не наблюдалось. Из этого эксперимента при условии частичного увлечения эфира может быть легко определен коэффициент Френеля ρ. Он может быть также очень просто и непосредственно выведен из преобразований Лоренца.

Результат Френеля в свое время считался общепризнанным исследователями, включая Максвелла, который подчеркнул, что хотя может не быть эффектов первого порядка, возможно, могут существовать эффекты второго порядка (пропорциональные w^2/c^2). Тогда при $w \approx 30$ км/с для орбитального движения Земли $w/c = 10^{-4}$ и $w^2/c^2 = 10^{-8}$, значение слишком малое для измерения, по мнению Максвелла.

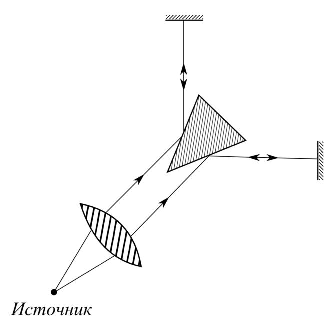


Рис. 13.2. Схема первого аппарата для обнаружения эффектов второго порядка.

Мне показалось, однако, что, используя световые волны, можно придумать соответствующее приспособление для измерения такого эффекта второго порядка. Продуман аппарат, включающий в себя зеркала, движущийся со скоростью w сквозь эфир, в аппарате два световых луча проходят взад и вперед, один параллельно к w, а другой — под прямым углом к w.

В соответствии с классической теорией изменения в световом пути, вызванные w, должны быть различными для обоих лучей, и это должно производить ощутимое смещение интерференционных полос. Первая схема, в которой реализована попытка обнаружения эффектов второго порядка, изображена на рис. 13.2.

При реализации ее, однако, натолкнулись на очень большие трудности и от нее вскоре отказались, и к счастью, потому что это привело к созданию конструкции интерферометра, который доказал свою ценность во многих последующих экспериментах.

Интерферометр (рис. 13.3) известен всем вам. При наложении двух лучей, пропущенных соответственно от источника к стеклянной пластинке и затем к зеркалам 1 и 2 и обратно, получается ряд интерференционных полос. Если применен белый свет, то центральные полосы будут белыми, а полосы по краям — цветными. При движении аппарата со скоростью *w* сквозь эфир должен возникать такое же воздействие на свет, что и влияние течения воды при движении лодки, в одном случае плывущей вниз или вверх по течению, а в другом случае — вперед и назад поперек течения. Время, требуемое для преодоления дистанции вперед или назад, будет различным для обоих случаев. Это легко видеть из того, что какова бы ни была скорость течения, лодка, которая движется перпендикулярно потоку, всегда может вернуться к тому берегу, с которого она стартовала, но если она движется вдоль течения, она может оказаться неспособной вернуться обратно против течения.*

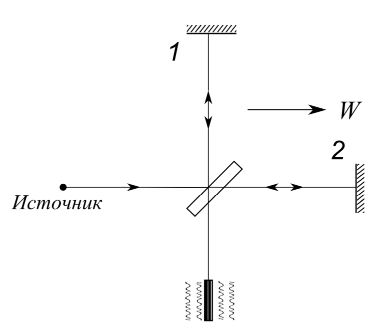


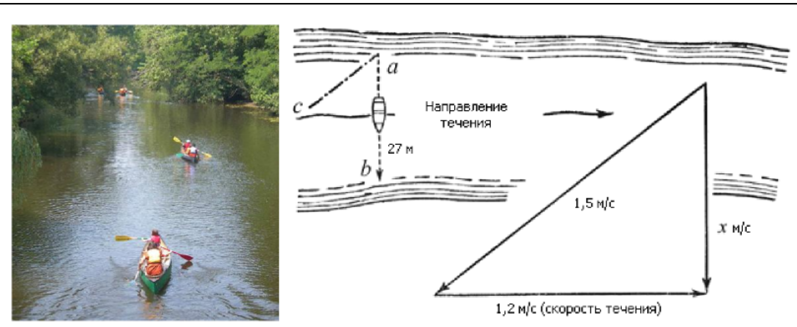
Рис. 13.3. Интерферометр Майкельсона

---

* Биограф А.Майкельсона Бернард Джефф в книге «Майкельсон и скорость света» (М.: Изд-во иностранной литературы, 1963) писал: «Майкельсон без конца ломал голову над будущим опытом, думая о нем даже по ночам. «Эфирное море», в которое мы погружены, как рыбы в воду, должно в какой-то мере замедлять распространение света, и это замедление должно быть доступно измерению. Следующий пример пояснит это рассуждение. Каждому пловцу известно, даже если он не понимает причины, что легче переплыть движущийся поток воды поперек и вернуться назад, нежели проплыть то же расстояние вверх или вниз по течению и обратно. Так, многие рыболовы замечали, что на весельной лодке переплыть на другой берег реки и обратно скорее, чем вверх по течению и назад». http://bit.ly/gjitEC фото http://bit.ly/exuxxO

Я попытался провести эксперимент в лаборатории Гельмгольца в Берлине, но вибрации городских магистралей не позволили стабилизировать положение интерференционных полос. Аппаратура была перенесена в лабораторию в Потсдаме. Я забыл имя директора (думаю, что это был Фогель), но вспоминаю с удовольствием, что он немедленно проявил интерес к моему эксперименту. И хотя он никогда не видел меня раньше, он предоставил всю обсерваторию вместе с ее штатом в мое распоряжение. В Потсдаме я получил нулевой результат. Точность была не очень высока, потому что длина оптического пути составляла около 1 м. Тем не менее интересно отметить, что результат был вполне хорошим. Когда я вернулся в Америку, мне посчастливилось в Кливленде вступить в сотрудничество с проф. Морли. В аппаратуре был применен все тот же принцип, что и в аппаратуре, использованной в Берлине, хотя длина светового пути была увеличена за счет введения некоторого числа отражений вместо единственного прохождения луча. Фактически длина пути составила 10–11 м, что должно было за счет орбитального движения Земли в эфире дать смещение в половину полосы. Однако смещения обнаружено не было. Смещение полос было определено меньше, чем 1/20 или даже 1/40 от предсказанного теорией. Этот результат может быть истолкован так, что Земля захватывает собой эфир почти полностью, так что относительная скорость эфира и Земли на ее поверхности равна нулю или очень мала. Это предположение однако весьма сомнительно, потому что противоречит другому важному теоретическому условию. Лоренцем было предложено иное объяснение (Лоренцово сокращение),

---



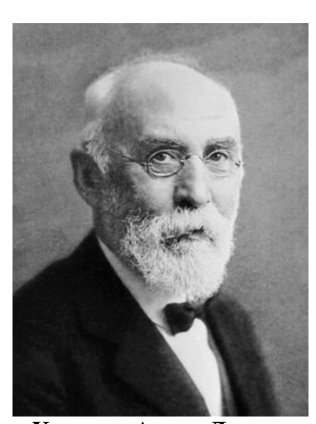
У гребца (1,5 м/с) уходит 100 с на то, чтобы проплыть 27 м вниз по течению и обратно, и 60 с, чтобы проплыть 27 м поперек течения и обратно (скорость течения — 1,2 м/с).

См. также примечание к главе 2 настоящего сборника. – *Прим. ред.*

которое в окончательной форме выведено как результат знаменитых преобразований Лоренца. Они составляют сущность всей теории относительности. Эксперимент Майкельсона–Морли был продолжен Морли и Миллером, которые снова получили отрицательный результат. Миллер затем продолжил работы самостоятельно, и похоже теперь, что получен определенный положительный эффект. Этот эффект, однако, не может быть получен за счет орбитального движения Земли. Похоже, что он возникает вследствие движения Солнечной системы относительно звездного пространства, скорость которого может быть много большей орбитальной скорости Земли.

Наблюдения г-на Миллера вызывают новый интерес к проблеме. Превосходная часть работы уже выполнена господином Кеннеди, чей доклад вы услышите. Я намерен сам провести эксперименты еще раз, но может пройти несколько месяцев, прежде чем я смогу изложить мои результаты, которые, как я надеюсь, смогут пролить свет на этот предмет.

II. Профессор Х. А. Лоренц (Лейден, Голландия)



Хендрик Антон Лоренц (1853 — 1928)

Движение Земли сквозь гипотетический эфир (называемый так в соответствии с исторической терминологией) может оказывать влияние на различные явления. Первым, относящимся сюда явлением, обнаруженным экспериментально, была аберрация света. Она обсуждалась на основе эмиссионной теории, а также волновой теории света в форме, предложенной Френелем. Точку зрения Френеля мы можем выразить следующим образом: мы строим наши диаграммы в системе координат, связанных с Землей. В этой системе вся весомая материя покоится. Но эфир может двигаться сквозь нее. Допустим, скорость эфира есть w. Если эфир не движется, то скорость света, проходящего сквозь вещество, будет равна $u = c/\mu$, где μ — показатель пре-

ломления, а c — скорость света. Теперь сформируем вокруг P элементарную волну. Через время dt она образует сферу радиусом udt. Центр O этой волны не будет, однако, совпадать с P, а будет смещен на расстояние $kwdt$, где $(1-k)$ есть коэффициент Френеля $1-1/\mu^2=\rho$. Таким образом, $k=1/\mu^2$. PQ – луч света. (Мы обозначим через v скорость *лучей* света).

Q

P O

Рис. 13.4. Векторное суммирование относительной скорости эфира и скорости света, проходящего сквозь вещество, или соответствующих путей за время *dt*

Из рис. 13.4, на котором $PQ=vdt$; $PO=kwdt$ и $OQ=udt$, мы получим соотношение:

$$PQ:PO:OQ=v:kw:u$$

и, следовательно,

$$u^2=v^2+k^2w^2-2kv\cos\theta \qquad (1)$$

Вывод этой формулы основан на принципе Гюйгенса и увлечении Френеля. Принцип Гюйгенса может быть использован в любом случае. Он просто отражает распространение элементарной волны и образование последовательных волновых фронтов. Относительно коэффициента увлечения я упоминаю, что Френель нашел его сначала на механической основе, исходя из его упругой теории света. Это была для того времени весьма замечательная теория.

Если мы пренебрежем членами с w^2, мы найдем

$$v=u+kw\cos\theta;$$

$$\frac{1}{v}=\frac{1}{u}-\frac{kw}{u^2}\cos\theta.$$

Ход луча света между данными точками определяется из условия (принцип Ферма): $o=\delta\int\frac{dS}{v}$ или

$$o = \delta \int \left(\frac{ds}{u} - \frac{kw}{u^2} \cos\theta \, ds \right). \qquad (2)$$

Полагая теперь $\frac{k}{u^2} = \text{const}$, получим, что k обратно пропорционально μ^2. Для $\mu = 1$ это дает $k = 1$. Следовательно, $k = \frac{1}{\mu^2}$.

Второй член в (2) получается таким: $\frac{1}{c^2} \int w \cos\theta \, ds$. Теперь будем считать перемещение эфира на нашей диаграмме безвихревым, так что w зависит от скоростного потенциала φ: $w = \text{grad}\, \varphi$. Тогда интеграл $\int w \cos\theta \, dS$ для пути между точками P и P' будет равен $\int_P^{P'} \frac{\partial \varphi}{\partial S} dS = \varphi P' - \varphi P$. Это значение одинаково для всего пути и условие (2) становится простым: $\delta \int \frac{dS}{u} = 0$, так, как если бы не было движения эфира. Таким образом, мы заключаем, что ход луча не изменяется при движении эфира.

Рассуждения, приведенные выше, включают также случаи отражения и преломления.

Теперь рассмотрим два пути 1 и 2 (индексы 1 и 2 на рис. 13.5 – *В.А.*) для луча света, проходящего из заданной точки P к другой заданной точке P'. Время, требуемое для прохождения света между ними, для пути 1 составляет $\int_1 \frac{dS}{v} = \int_1 \frac{dS}{u} - \frac{1}{c^2} \int_1 w \cos\theta \, ds$,

а для пути 2

$$\int_2 \frac{dS}{v} = \int_2 \frac{dS}{u} - \frac{1}{c^2} \int_2 w \cos\theta \, ds.$$

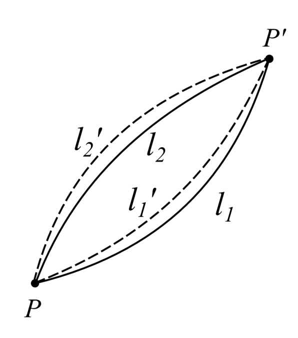


Рис. 13.5. Прохождение света между двумя точками по двум различным путям

Последние члены выражений равны. Поэтому разность между двумя интервалами времени не меняется при движении эфира. Это

движение, следовательно, не оказывает влияния как на интерференцию, так и на дифракцию.

Можно заметить, что разность между интервалами времени, которая обсуждалась выше, должна зависеть от движения эфира, если это движение не безвихревое. Изменение создано разностью двух интегралов $\int_1 w \cos\theta \, ds$ и $\int_2 w \cos\theta \, ds$ взятых для двух путей между P и P'. Для этой разности можно написать линейный интеграл скорости w, взятый по замкнутой цепи, сформированной двумя траекториями.

Рассмотрим два примера вращения Земли. Если эфир стационарен, его движение относительно Земли будет вращением в противоположном направлении. Если теперь зафиксировать относительно Земли широкий контур, например, прямоугольной формы и в нем пропустить в противоположных направлениях два луча света, то относительное движение эфира даст изменение в положении полос интерференционной картины, образованной этими двумя лучами. Этот эффект наблюдался профессорами Майкельсоном и Гелем.

В нижеследующем не будет рассматриваться вращение Земли, учитываться будет только годичная аберрация. Для пояснения этого вышеприведенных рассуждений достаточно. Если в точке, находящейся на некотором расстоянии от Земли, направление луча, приходящего от звезды, задано в той системе координат, в которой движется Земля, то оно может быть сведено к такому направлению луча в системе координат, фиксированной относительно Земли, что направления этих относительных лучей определятся обычными законами оптики.

Мы провели обсуждение некоторых специальных теорий. В теории Френеля эфир предполагается неподвижным; его движение относительно Земли может быть истолковано как постоянное смещение, которое, конечно, безвихревое. Необходимо вводить коэффициент увлечения, потому что при наблюдениях эфир движется сквозь весомые тела (линзы), содержащиеся в нашем приборе.

Стокс предложил теорию, в которой эфир обладает безвихревым движением, так что во всех точках земной поверхности его скорость равна скорости Земли. С помощью этого последнего предположения он смог избежать ввода френелевского коэффициента.

Однако, по крайней мере, когда эфир предполагался несжимаемым, предположения Стокса противоречат друг другу. Если сфера движется с постоянной скоростью в несжимаемой среде, движение среды полностью определяется условием отсутствия в ней вихрей и тем, что в направлении, нормальном к поверхности, точки сферы и примыкающей к ней среды имеют одинаковую скорость. В тангенциальном же направлении две скорости будут непременно различны.

Пока дело касается аберрации, модификация теории Френеля полностью допустима. Когда же мы добавляем коэффициент увлечения, мы можем принять существование некоторого движения эфира, при условии, что он безвихревой. Фактически это обязательное условие. Предположим для примера, что на части поверхности Земли, которая может рассматриваться как плоскость, эфир течет в горизонтальном направлении x со скоростью w_x, и его скорость увеличивается с высотой y над поверхностью Земли. Это движение может и не быть безвихревым и может не приводить к наблюдаемой аберрации. Поскольку существование скоростного потенциала требует равенства производных $\partial w_x/\partial y$ и $\partial w_y/\partial x$, наблюдаемая аберрация может существовать только тогда, когда в дополнение к предполагаемому движению в горизонтальной плоскости имеется некоторая вертикальная скорость эфира достаточной величины, меняющаяся от одной точки поверхности к другой.

Пока стоял вопрос только об эффектах первого порядка, то есть об эффектах, которые должны быть пропорциональны первой степени отношения скорости Земли к скорости света. Почти во всех случаях, когда астрономы и физики пытались выделить влияние движения Земли на оптические и электромагнитные явления, только эффекты этого порядка величины могли бы наблюдаться. Тот факт, что все эти попытки оказались бесплодными и что это могло быть объяснено при теоретическом рассмотрении типа приведенного, вскоре привело к убеждению, что движение Земли никогда не сможет произвести эффект первого порядка. Это убеждение значительно усилилось, когда Эйнштейн разработал свою теорию относительности и просто постулировал, что результаты всех экспериментов, которые мы проводим в наших лабораториях, должны быть независимы от движения Земли, каковы бы ни были точности наших измерений и порядок эффектов, которых мы могли бы дос-

тичь. К экспериментальным свидетельствам, которые мы всегда имели, добавилось обаяние красивой и самосогласующейся теории.

Я могу добавить, что исторически до разработки теории относительности ситуация была несколько похожа на ту, которая сейчас характерна для квантовой механики. Конечно, имелось не так много людей, работающих в этой области, как сейчас. И все же мы часто живо обсуждали этот предмет. Я особенно запомнил собрание Германского общества естественных наук в Дюссельдорфе в 1898 г., на котором присутствовали немецкие физики Планк, В.Вин, Друде и многие другие. Мы дискутировали особенно по вопросам эффектов первого порядка. Было предложено несколько приборов, с помощью которых можно было бы наблюдать эффект, но, насколько мне известно, ни одна из этих попыток не была даже предпринята. Убеждение в том, что эффекты первого порядка не существуют, вскоре стало слишком сильно. Мы даже привыкли в конце концов рассматривать только аннотации экспериментальных статей, которые касались таких эффектов. В случае, когда результат оказался отрицательным, мы чувствовали полное удовлетворение.

Что касается эффекта второго порядка, то здесь ситуация была значительно сложнее. Экспериментальные результаты могли быть объяснены известным способом – путем преобразования координат из одной системы в другую. Было также необходимо преобразование времени. Так я ввел концепцию местного времени, которое различно для различных систем отсчета, движущихся друг относительно друга. Но я никогда не думал, что это относится как-то к реальному времени. Реальное время для меня было по-прежнему представлено старым классическим понятием как абсолютное время, которое не зависит от каких бы то ни было специальных систем отсчета. Существует, по моему мнению, только это одно истинное время. Я рассматриваю мои преобразования времени только в качестве эвристической рабочей гипотезы. Таким образом, теория относительности есть реально работа исключительно Эйнштейна. И можно не сомневаться, что он бы задумал ее, даже если бы работа всех его предшественников и не была выполнена. Его работа в этом отношении не зависит от предшествующих теорий.

Я немного скажу о теории эксперимента Майкельсона–Морли, который был первым из тех, которые имели отношение к эффектам второго порядка. Результат снова должен быть отрицательным, если мы следуем теории относительности. Если же вместо этого мы

учтем в эксперименте наш старый стационарный эфир, то мы должны с большой тщательностью продумать пути интерферирующих лучей и время, за которое свет проходит вдоль каждого из них от источника до точки, где возникает интерференция.

Для этой цели мы должны снова применить фундаментальное уравнение (1). Ограничивая себя распространением в эфире, мы можем положить $u = c, k = 1$, так что уравнение приобретает вид $c^2 = v^2 + w^2 - 2vw\cos\theta$. Принимая во внимание члены второго порядка w^2/c^2, получим $v = c\left(1 + \frac{w}{c}\cos\theta - \frac{w^2}{2c^2}\sin^2\theta\right)$,

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{c}\left\{1 - \frac{w}{c}\cos\theta + \frac{w^2}{c^2}(\cos^2\theta + \frac{1}{2}\sin^2\theta)\right\}.$$

Теперь рассмотрим два пути 1 и 2, вдоль которых свет может идти от точки P до точки P' (см. рис. 13.5). Для каждого из них время, требуемое для распространения, будет определяться выражением в форме

$$\int\frac{ds}{v} = \frac{1}{c}\int ds - \frac{1}{c^2}\int w\cos\theta\, ds + \frac{1}{c^3}\int w^2(\cos^2\theta + \frac{1}{2}\sin^2\theta)\, ds, \qquad (3)$$

и мы сможем рассчитывать оба времени, если мы знаем траектории, вдоль которых берем интегралы. Допустим, что траектории l_1 и l_2 (рис. 13.5) изображают пути двух лучей такими, какими они должны быть, если эфир не движется сквозь диаграмму. Как показано, эти траектории не меняются при движении, пока мы рассматриваем лишь величины порядка w/c. Они могут, однако, меняться, если, как теперь предлагается, принять во внимание члены второго порядка. Мы получим тогда, например, пунктирные линии l'_1 и l'_2, отстоящие от l_1 и l_2 на расстояние по нормали к этим линиям на величину второго порядка. Мы должны теперь рассчитать время распространения для путей l'_1 и l'_2, обозначаемое через Tl'_1 и Tl'_2. Поскольку, однако, T минимально для l_1 и сравнивается с рядом лежащей траекторией и поскольку смещение от l_1 до

$l_{1'}$ есть величина второго порядка, различие между Tl_1 и Tl'_1 будет четвертого порядка. Этим можно пренебречь, когда мы ограничиваемся величинами второго порядка. Подобным же образом мы можем заменить Tl_2 на Tl'_2. Это означает, что в определении фазовых разностей мы можем использовать величины из (3) для лучей, так что они будут соответствовать обычным законам оптики при отсутствии движения Земли.

Таким образом, мы пришли к обычной теории эксперимента, который должен дать надежду на смещение интерференционных полос, отсутствие которого объясняется хорошо известным гипотетическим сокращением (Лоренцово сокращение).

Если меня спросят, рассматриваю ли я это сокращение как реальность, я отвечу «да». Она такая же реальность, как все, что мы наблюдаем.

III. Профессор Дейтон К.Миллер, Кейсовская школа прикладных наук

Эксперименты, о которых я буду докладывать сегодня, похоже, приводят к заключению, которое противоречит обычной интерпретации эксперимента Майкельсона–Морли. Для того чтобы изложить историю полнее, я начну с заключения по экспериментам, которые были проведены Майкельсоном и Морли в 1887 г. в Кливленде; эти эксперименты были истолкованы как показавшие отсутствие эфирного ветра. Д-р Лоренц в 1895 г. предложил первое объяснение этому неожиданному результату, предположив, что движение твердого тела сквозь эфир может сопровождаться сокращением размера этого тела в направлении движения с одновременным вытягиванием его в поперечном направлении, на величину, пропорциональную квадрату отношения скоростей перемещения и света, их значения таковы, что уничтожают эффект эфирного ветра в интерферометре Майкельсона–Морли. Оптические размеры этого интерферометра были определены базой из песчаника, на которой были размещены зеркала. Если сокращение размеров зависит от физических свойств твердого тела, то можно предположить, что сосновые балки будут испытывать большее сокращение, чем песчаник, в то время как сталь может сократиться в меньших преде-

лах. Если сокращение размеров нивелирует ожидаемое смещение полос в одном аппарате, то оно же может в другом аппарате дать смещение, отличное от нуля, возможно, даже противоположного знака.



Дейтон Миллер (слева) и Альберт Майкельсон (справа) на конференции 4 и 5 февраля 1927 г. на Маунт Вилсон. http://bit.ly/SybSV

На Международном конгрессе по физике, состоявшемся в 1900 г. в Париже, Лорд Кельвин произнес речь, в которой он рассматривал теории эфира. Он заметил, что *«единственным облаком в ясном небе теории был нулевой результат эксперимента Майкельсона–Морли»*. Профессор Морли и автор присутствовали при этом, и в разговоре Лорд Кельвин выразил убеждение, что эксперимент должен быть повторен с более чувствительным прибором. Автор в содружестве с профессором Морли сконструировал интерферометр примерно в четыре раза более чувствительный, чем примененный в первом эксперименте, с длиной оптического пути 214 футов (65,3 м), эквивалентной, примерно, 130 млн. длин волн. В этом приборе относительная скорость Земли и эфира, равная орбитальной скоро-

сти Земли, должна быть выявлена смещением интерференционных полос на 1,1 полосы. Такое смещение определяется размером прибора, который с тех пор и применялся. Оптическая часть была сделана заново, из первоначального аппарата использовали только бак с ртутью и деревянный поплавок.

Такой прибор с основой из сосновых досок был применен в Кливленде в 1902, 1903 и 1904 гг. для непосредственной проверки эффекта Лоренца–Фицжеральда, но изменения параметров деревянной рамы, вызванные изменениями влажности и температуры, затрудняли получение точных наблюдений. Проф. Ф. Х. Нефф из отделения гражданской техники Кейсовской школы прикладных наук рассчитал новый опорный каркас в целях обеспечения как симметрии, так и жесткости. Этот каркас или основа был сделан из конструкционной стали и был так сконструирован, что оптические размеры могли быть зависимыми лишь от длины кусков дерева или же самого стального каркаса. Наблюдения с этим аппаратом были выполнены в 1904 г. Вся методология была основана на ожидании эффекта, вызванного комбинацией суточного и годичного движения Земли совместно с предполагаемым движением Солнечной системы со скоростью в 19 км/с в направлении созвездия Геркулеса. Для наблюдений были выбраны два момента времени, когда результирующая этих движений лежала в плоскости интерферометра: около 11 ч 30 мин и 21 ч 00 мин. Рассчитанные азимуты движения для этих двух моментов времени могут различаться. Наблюдения для этих двух моментов времени были поэтому скомбинированы таким образом, чтобы ожидаемый азимут для утреннего времени совпадал с азимутом для вечернего времени. Наблюдения для этих двух моментов времени суток дали результаты, имеющие положительные величины, но почти противоположные фазы; когда они были сложены, результат был почти нулевым. Таким образом, результат не соответствует ранее обсуждавшейся теории, но согласуется с идеями, которые появились позже и изложены в настоящем докладе; теперь видно, что совмещение двух серий наблюдений с различными фазами основано на ошибочной гипотезе и что положительные результаты, полученные тогда, находятся в согласии с новой гипотезой солнечного движения. Наш доклад об этих экспериментах, опубликованный в *Philosophical Magazine* в мае 1905 г., заканчивается следующим утверждением:

«Можно полагать, что эксперимент лишь показал, что эфир в конкретной подвальной комнате увлекается в продольном направлении вместе с ней. Мы собираемся поэтому переместить аппарат на возвышенность, чтобы посмотреть, не обнаружится ли там эффект» (*курсив мой — В.А.*).

Как о важном факторе я могу упомянуть о наших представлениях, при которых мы выполняли эксперимент. Предполагалось искать определенный эффект, чтобы подтвердить конкретную теорию. Мы представляли, что должна получаться определенная картина. Мы рассчитали величину и азимут эффекта из теории и обсуждали наши экспериментальные результаты в связи с этими специфическими ожиданиями. В каждом случае мы устанавливали, что результат был отрицательным в соответствии с этими ожиданиями. Но никогда не было численного нуля, даже в первоначальном эксперименте Майкельсона и Морли. Это был нуль лишь по отношению к орбитальному движению Земли. Остающийся же эффект, однако, был достаточно большим, чтобы его можно было измерить. Были поставлены эксперименты чтобы доказать, что это происходит не из-за магнитной деформации каркаса прибора и не вследствие температурных возмущений, поскольку эффект был систематическим. Высказывалось предположение, что эфир может увлекаться по-разному внутри и снаружи каменного строения.

Осенью 1905 г. Морли и Миллер перебазировали интерферометр из подвального помещения лаборатории на место на Евклидовых высотах в Кливленде, свободное от мешающих зданий и находящееся на высоте около 300 футов (90 м) над озером Эри и около 870 футов (265 м) выше уровня моря. Дом преднамеренно имел очень легкую конструкцию, и его прозрачные (стеклянные) окна были расположены в направлении ожидаемого эфирного ветра. В 1905—1906 гг. было сделано пять серий наблюдений, которые дали определенный положительный эффект — около 1/10 ожидаемого дрейфа. Проф. Морли устранился от активной работы в 1906 г., и продолжение эксперимента легло на плечи автора настоящего доклада. Было весьма желательно, чтобы дальнейшие наблюдения были вынесены на большую высоту, но многочисленные причины препятствовали возобновлению наблюдений.

Во время солнечного затмения 1919 г. было проведено измерение отклонения света звезд Солнцем, предсказанное теорией относительности. Полученные результаты были широко восприняты

как подтверждение этой теории. Это вновь возбудило интерес автора к экспериментам по эфирному ветру, интерпретация которых никогда для него не была приемлема. Благодаря любезности президента Мерриама и директоров Хейла и Адамса было предоставлено место в обсерватории Маунт Вилсон на вершине горы Маунт Вилсон, имеющей высоту около 6000 футов (1860 м). Интерферометр для исследования эфирного ветра был установлен на место в феврале 1921 г., и наблюдения продолжались в течение пяти лет.

Наблюдения были начаты в марте 1921 г., с использованием аппарата и методики, примененной Морли и Миллером в 1904, 1905 и 1906 гг., с некоторыми изменениями и дополнениями в деталях. Первое же наблюдение дало положительный эффект, такой, какой и должен был бы быть произведен реальным эфирным ветром, соответствующим движению Земли относительно эфира со скоростью 10 км/с. Однако прежде чем объявлять этот результат, показалось необходимым изучить каждую возможную причину, которая способна вызвать смещение интерференционных полос, подобное тому, что вызывается эфирным ветром; среди причин наиважнейшими были магнитострикция и тепловое излучение. Для исследования последнего металлические части интерферометра были полностью закрыты пробкой толщиной 1 дюйм; было проведено 50 серий наблюдений, обнаруживших такое же периодическое смещение интерференционных полос, как и в первых наблюдениях, и таким образом показавших, что тепловое излучение не является причиной наблюдаемого эффекта.

Летом 1921 г. стальной каркас интерферометра был демонтирован, и база из цельного куска бетона, усиленного латунью, была помещена на чан с ртутью.

Все металлические части были сделаны из алюминия или латуни; таким образом, весь аппарат был освобожден от магнитных влияний, а возможные эффекты, зависящие от тепла, были сильно уменьшены. В декабре 1921 г. были проведены 42 серии наблюдений с немагнитным интерферометром. Они показали положительный эффект, такой, как от воздействия эфирного ветра, который полностью соответствовал наблюдениям в апреле 1921 г. В этот период было испытано множество вариаций случайных воздействий. Наблюдения проводили с вращением интерферометра по часовой и против часовой стрелки с быстрым и очень медленным вращением, с интерферометром, крайне наклоненным благодаря

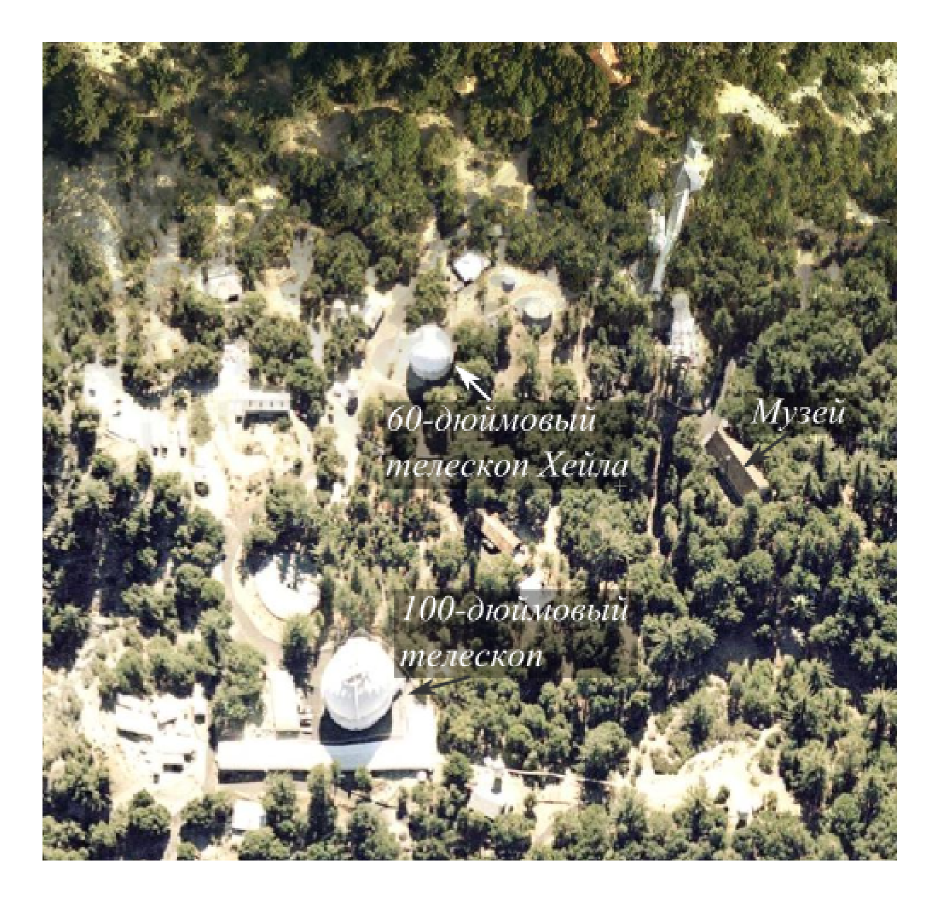
нагрузке на одну сторону поплавка. Было испробовано множество вариаций процедуры наблюдения и записей. Результаты наблюдений не зависели ни от одного из этих изменений.

Весь аппарат был возвращен в лабораторию в Кливленд. За период 1922 и 1923 гг. было проведено множество испытаний этого аппарата при различных контролируемых условиях, и со множеством вариантов расположения его частей. Расположение призм и зеркал было сделано таким, что источник света можно было держать вне помещения для наблюдения. Для наблюдения интерференционных полос в стационарный телескоп была усложнена система зеркал. Были опробованы методы фотографической регистрации с помощью кинокамеры. Были проверены различные источники света, включая солнечный свет и электрическую дугу. Наконец, расположение аппарата было усовершенствовано для того, чтобы проводить наблюдения с астрономическим телескопом, имеющим объектив с 5-дюймовой апертурой (127 мм) и 50-кратным увеличением. Источником света служила яркая ацетиленовая лампа типа тех, которые применяются в автомобилях в качестве передних фар. Для определения влияния неравномерности температуры и теплового излучения была проведена обширная серия экспериментов, в которой были опробованы различные изолирующие покрытия для основы интерферометра и его оптических путей. Эти эксперименты доказали, что в условиях реальных экспериментов периодические смещения не могут быть вызваны температурными эффектами. Расширенные исследования, проведенные в лаборатории, показали, что полнопериодическое смещение полос, упоминавшееся в предварительном докладе о наблюдениях на Маунт Вилсон, является необходимым геометрическим следствием регулировки зеркал, когда используются интерференционные полосы конечной ширины, и что это смещение исчезает только для полос бесконечной ширины, что и предполагается простой теорией эксперимента.

В июле 1924 г. интерферометр был вновь перенесен на Маунт Вилсон и смонтирован на новом месте, где температурные условия были более благоприятные, чем в 1921 г. Домик для интерферометра был также смонтирован с иной ориентацией. Снова наблюдения показали периодическое смещение интерференционных полос, как и во всех наблюдениях, ранее выполненных на Маунт Вилсон и в Кливленде.

Несмотря на продолжительные усилия, оказалось невозможным объяснить эти эффекты как результат каких-либо земных причин или ошибками эксперимента. Были проделаны обширные вычисления с целью согласовать наблюдаемые эффекты с принятыми теориями эфира и с предполагаемым движением Земли в пространстве. Для того чтобы последовательно исследовать одну за другой предлагаемые гипотезы, наблюдения для определенных эпох были повторены. В конце 1924 г., когда объяснение получаемых результатов казалось уже невозможным, для начала каждого месяца года впервые были проведены полные вычисления ожидаемого эффекта. Они показали, что смещение полос должно быть максимальным около 1 апреля и что направление эффекта должно вращаться вокруг горизонта в течение 24 часов в сутки. Для проверки этого предположения были проведены наблюдения в марте и апреле 1925 г. Эффект оказался равным по величине наибольшему из всех ранее наблюдавшихся, но его направление не проходило последовательно все направления компаса и не давало направления 90° в сторону через интервал в шесть часов. Вместо этого направление просто колебалось вперед и назад в пределах угла около 60°, имея в основном северо-западное направление.

До 1925 г. эксперимент Майкельсона–Морли всегда использовался для проверки определенной гипотезы. Рассматривалась только та теория эфира, которая предполагала, что это абсолютно стационарный эфир, через который Земля движется, совершенно не возмущая его. Применительно к этой гипотезе эксперимент дал отрицательный ответ. Этот эксперимент был предназначен только для проверки этой возможности с учетом особенностей известных движений Земли, а именно вращения вокруг оси и орбитального, сложенных с постоянным движением Солнечной системы по направлению к созвездию Геркулеса со скоростью около 19 км/с. Результаты эксперимента не соответствовал таким предполагаемым движениям. Эксперимент был использован и для проверки гипотезы Лоренца–Фицджеральда, предполагавшей, что размеры тел изменяются при их движении сквозь эфир; были проведены проверки эффектов магнитострикции, теплового излучения и гравитационной деформации каркаса интерферометра. И хотя все эти наблюдения, продолжавшиеся годами, на различные вопросы давали отрицательный ответ, неизменно присутствовал постоянный и устойчивый небольшой эффект, который не был объяснен.



Обсерватория Маунт Вилсон и музей, вид со спутника http://bit.ly/fSI5Rb

Интерферометр для измерения эфирного ветра – это инструмент, который обычно приспособлен для определения относительного движения Земли и эфира; следовательно, он способен указать направление и скорость абсолютного движения Земли и Солнечной системы в пространстве. Если наблюдения были проведены для определения такого абсолютного движения, то каков же должен быть результат, независимый от каких бы то ни было ожиданий? Для ответа на этот главный вопрос было решено провести более обширные наблюдения в другие периоды 1925 г., что и было сделано в июле, августе и сентябре.

Можно задать вопрос: почему к этому не пришли раньше? Ответ частично заключается в том, что наше внимание было сконцентрировано на проверке определенной, так называемой «классической» теории, а частично в том, что не так-то легко разработать новые гипотезы, если для этого нет особых причин. Возможно, что существенной причиной неудач является значительная сложность выполнения наблюдений в течение всех суток в каждый отдельный период наблюдений. Я не думаю, что я самоуверен, я просто устанавливаю факт, когда отмечаю, что наблюдения эфирного ветра наиболее утомительны и изнурительны, требуют наибольшего физического, умственного и нервного напряжения из любых научных работ, с которыми я знаком. Простое регулирование интерферометра для интерференционных полос белого света и сохранение их в этом отрегулированном состоянии при длине светового пути в 214 футов (65 м) сделанное для 16 различных частей, когда он находится на открытом воздухе; требует как выдержки и крепких нервов, так и твердой руки. Проф. Морли однажды сказал: *«Терпение есть самообладание, без которого нельзя начинать наблюдения подобного рода»*. Наблюдения должны проводиться в темноте, в дневное же время дом с интерферометром должен затеняться экраном из черной бумаги; наблюдения должны проводиться при температуре точно такой же, что и на открытом воздухе; наблюдатель должен ходить по кругу диаметром около 20 футов (6 м), удерживая свой глаз у движущегося окуляра телескопа, присоединенного к интерферометру, который плавает на ртути и равномерно вращается вокруг своей оси со скоростью примерно один оборот в минуту; ни в коем случае наблюдатель не должен касаться интерферометра и в то же время он не должен терять из виду интерференционные полосы, которые видны только через маленькое отверстие окуляра телескопа, имеющее диаметр примерно 1/4 дюйма (6,5 мм); наблюдатель делает 16 считываний положения интерференционных полос за каждый оборот, в моменты времени, сопровождаемые электрическим щелчком. Эти операции должны продолжаться без перерыва во всей серии наблюдений, которая длится обычно 15–20 мин., и это повторяется непрерывно в течение нескольких часов рабочего периода.

В процессе наблюдений, интерферометр с прикрепленным к нему наблюдательным телескопом, приводится во вращение, находясь на плоту в ртути, так что телескоп последовательно указывает

на все румбы компаса или, что то же самое, точки всех азимутов. Относительное движение Земли и эфира должно служить причиной периодического смещения интерференционных полос, полосы движутся сначала в одну сторону, а затем в другую по отношению к исходному состоянию в поле зрения с двумя полными периодами в каждом обороте прибора. Начальная точка отсчета телескопа – север, положение интерференционных полос отмечается на 16 равноотстоящих точках вокруг горизонта. Когда смещение максимально, что бывает 2 раза в сутки, отмечается азимут линии зрения, после чего несложно рассчитать прямое восхождение и склонение, или «апекс», предполагаемого «абсолютного» движения Земли в пространстве. Определение направления движения Земли зависит только от направления, на которое указывает телескоп когда смещение полос максимально, и не зависит от величины этого смещения или от настройки положения полос по отношению к некоторому частному положению нуля отсчета. Поскольку считывание проводится в интервале времени около 3 с, положение максимума зависит от наблюдений, перекрывающих интервал времени менее, чем 10 с. Полный же период смещения происходит за время порядка 25 с. Таким образом, наблюдения для определения направления абсолютного движения в значительной степени независимы от обычных температурных возмущений. Однако наблюдения являются дифференциальными и могут быть сделаны с высокой достоверностью при всех условиях. Серия отсчетов обычно состоит из 20 поворотов интерферометра, сделанных, примерно, за 15 мин, это дает 40 значений периодических эффектов. Эти 40 величин просто усредняются, чтобы получить одно «наблюдение». Любые температурные эффекты и другие причины возмущений, которые не являются регулярно периодическими в каждые 20 с на интервал в 15 мин будут в процессе усреднения практически исключены. Периодический же эффект, который сохраняется в окончательном среднем, должен быть реальным.

Положение системы интерференционных полос исчисляется в десятых долях ширины полос. Действительная скорость земного движения определяется амплитудой периодического смещения, которая пропорциональна квадрату относительной скорости Земли и эфира и длине оптического пути в интерферометре. Относительная скорость 30 км/с, равная орбитальной скорости Земли, будет производить смещение полос от одного экстремума до другого,

равное 1,1 полосы. Возмущения из-за изменений температуры или из-за других причин, продолжительностью в несколько секунд или в несколько минут могут исказить действительное значение наблюдаемого смещения и, таким образом, дать менее достоверное значение скорости относительного движения, однако в то же время положение максимума смещения не изменится. Значит, следует ожидать, что наблюдения для определения скорости движения не будут столь точными, как наблюдения за направлением движения. Обе величины — значение скорости и азимут наблюдаемого относительного движения совершенно не зависят одна от другой.

Желательно проводить наблюдения, равномерно распределенные по 24 часам суток; поскольку одна серия требует около 15 мин времени, то 96 правильно распределенных серий будет достаточно. Чтобы провести такую серию, обычно нужно затратить 10 дней. Наблюдения окончательно сводятся к одной группе, и средняя дата принимается за дату всего периода наблюдений. Наблюдениям, выполненным на Маунт Вилсон, соответствуют три периода – 1 апреля, 1 августа и 15 сентября; их более чем вдвое больше, чем всех других наблюдений эфирного ветра, выполненных начиная с 1881 г. Общее число наблюдений, выполненных в Кливленде, представляет около тысячи оборотов интерферометра, в то время как для всех наблюдений, выполненных на Маунт Вилсон до 1925 года, понадобилось 1200 оборотов. Наблюдения же 1925 года состоят из 4400 оборотов интерферометра, за время которых было сделано более 100.000 отсчетов. Группа из восьми отсчетов дает значения скорости и направления эфирного ветра, так что было получено 12500 отдельных измерений ветра. Это потребовало, чтобы наблюдатель прошел пешком в темноте по малой окружности 100 миль, произведя при этом отсчеты. В течение всего времени этих наблюдений условия были исключительно хорошими. Иногда там был туман, который поддерживал температуру весьма стабильной. На внешних окнах дома были повешены четыре прецизионных термометра; часто максимальные изменения температуры не превышали 0,1°, а обычно они были менее 0,4°. Такие вариации не влияли на периодическое смещение интерференционных полос. Можно добавить, что во время отсчетов не только наблюдатель, но и записывающий показания не могли иметь даже малейшего представления о том, есть ли периодичность, и еще менее, каковы на-

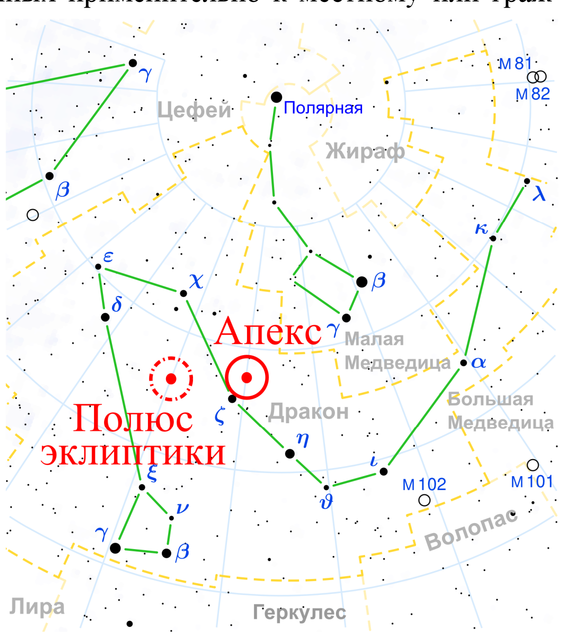
правление и величина какого бы то ни было периодического эффекта.

Сто тысяч отсчетов, сложенные в группы по двадцать и усредненные, затем были изображены в виде кривых. Эти кривые подвергнуты механическому гармоническому анализу в целях определения азимута и скорости эфирного ветра. В этой работе использованы все первичные наблюдения без каких-либо пропусков и без придания весовых коэффициентов; более того наблюдаемые величины не подвергались корректировкам любого вида. Результаты анализа окончательно нанесены на график таким образом, чтобы показать изменения азимута ветра за полные 24-часовые сутки для каждого периода наблюдений; вариации величины скорости были нанесены на график подобным же образом.
[Наблюдения 1925 г. были описаны, а детали результатов были показаны с помощью световых слайдовых диаграмм. Аналогичный доклад, представляющий собой речь президента Американского физического общества, прочитан в Канзас-Сити 29 октября 1925 г. Эта речь полностью отпечатана в *Science*, т. 63, с.433-443, 30 апреля 1926 г.]

Вычисления, основанные только на наблюдениях 1925 г., были выполнены для того, чтобы определить абсолютное движение Земли. Результат этого, как было доложено на совещании в Канзас-Сити, показал, что Солнечная система движется в направлении апекса, расположенного в созвездии Дракона со скоростью, превышающей 200 км/с. Для того чтобы подкрепить доложенное в Канзас-Сити, на Маунт Вилсон была выполнена серия наблюдений, составляющая 2020 оборотов интерферометра и соответствующая периоду наблюдения 10 февраля 1926 г. Полные вычисления, которые были теперь проделаны, включают наблюдения как 1925, так и 1926 г., ведут к следующему заключению: эксперименты по эфирному ветру на Маунт Вилсон показали, во-первых, что имеется систематическое смещение интерференционных полос в интерферометре, соответствующее постоянному относительному движению Земли и эфира в этой обсерватории со скоростью 10 км/с с вероятной погрешностью 0,5 км/с; во-вторых, что вариации в направлении и скорости указанного движения именно такие, как если бы происходило постоянное движение Солнечной системы в пространстве со скоростью 200 км/с или более по направлению к апексу в созвездии Дракона, около полюса эклиптики, который имеет

прямое восхождение в 255° (17 часов) и склонение +68°; и, в-третьих, что ось, вокруг которой флуктуирует наблюдаемый азимут эфирного ветра, указывает в северо-западном направлении, тогда как простая теория показывает, что эта ось должна совпадать с северным и южным меридианом.

Аргументы, на которых основаны эти заключения, могут быть проиллюстрированы с помощью рис. 13.6 и 13.7. На рис. 13.6 (б – внизу) четыре кривые отражают средний азимут для четырех дат наблюдений, составленных применительно к местному или гражданскому времени Маунт-Вилсон. Все кривые отражают величины по ординате на ноль часов, а полуденные величины — для 12 часов. Толстая кривая изображает среднее из 4 серий наблюдений, и ясно видна ее нерегулярность и близость величин к нулю. На рис. 13.6 (а – вверху) четыре азимутальные кривые, напротив, приведены к звездному времени. Толстая кривая отражает среднюю отчетливо видимую периодическую кривую. Если эффект возникает благодаря движению Земли сквозь пространство, то звездное время в том месте, где кривая пересекает временную ось, означает прямое восхождение апекса движения. Это время соответствует 17 часам. Склонение апекса, определяемое из амплитуды кривой и косинуса широты обсерватории, равно +68°.



Апекс эфирного ветра в созвездии Дракона: прямое восхождение 255° (17 часов), склонение +68°, согласно Д.Миллеру. Близ этого апекса расположен северный полюс эклиптики (показан пунктиром, α = 18ч00м, склонение δ = 66° 33'). http://bit.ly/gsmyvK — *Прим. ред.*

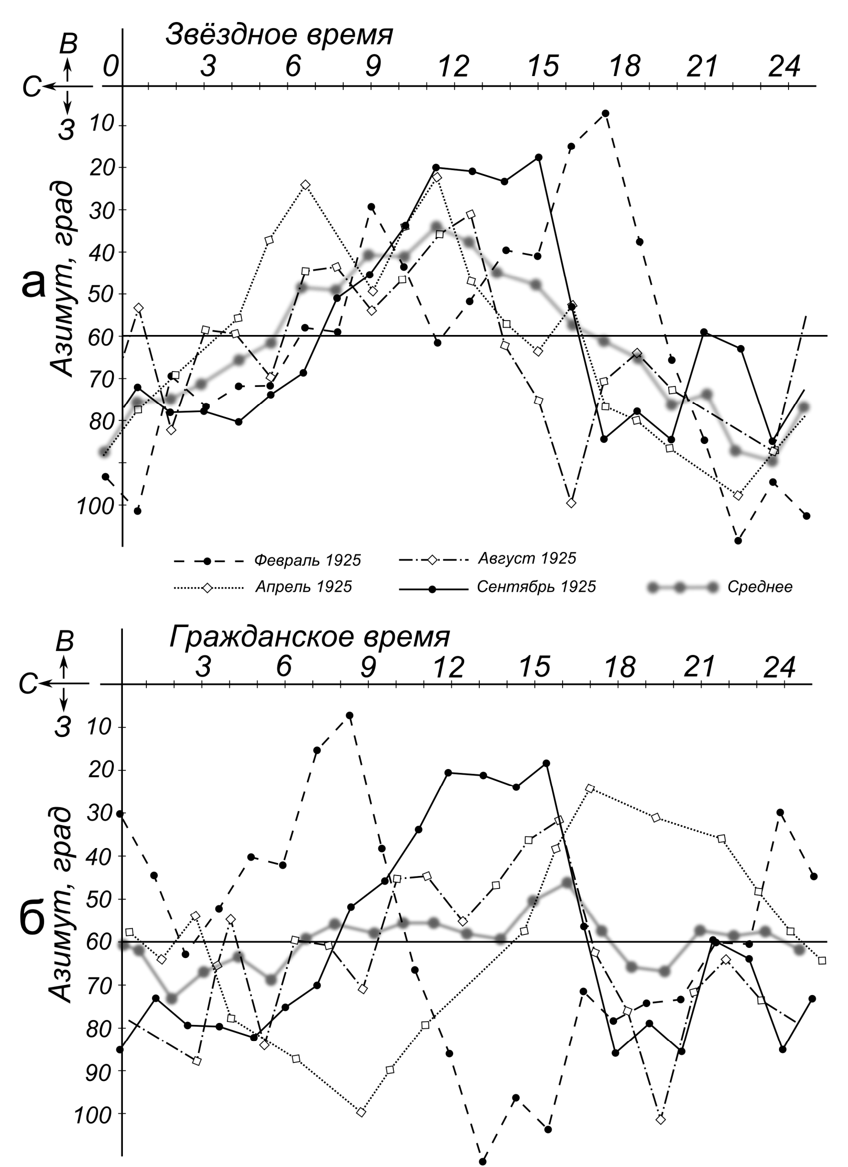


Рис. 13.6. Данные наблюдений азимута эфирного ветра, приведенные к звездному времени (а) и к гражданскому времени суток (б). *

---

* Кривые *а* и *б* не соответствуют друг другу в двух точках для апреля в районе 6-12 ч з.в. — *Прим. ред.*

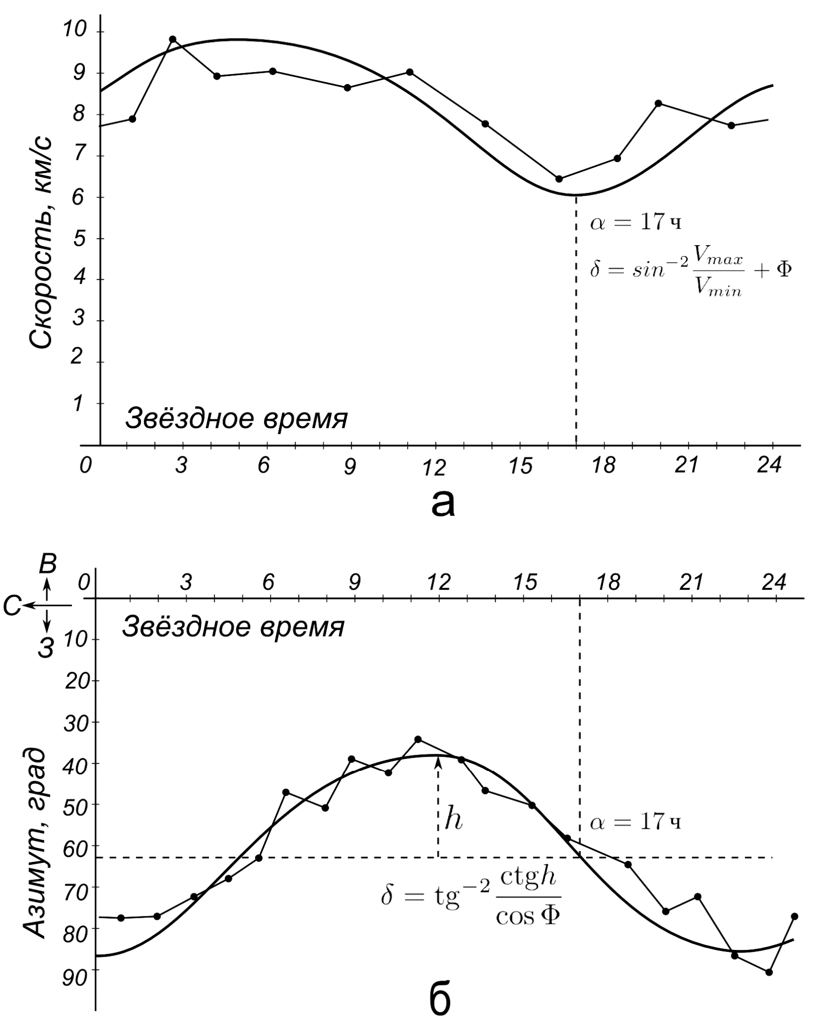


Рис. 13.7. Теоретические плавные кривые и экспериментальные ломаные кривые скорости (а) и азимуты эфирного ветра (б)

На рис. 13.7 внизу показана средняя суточная вариация азимута (ломаная линия) сравнительно с теоретической вариацией, показанной плавной линией. В верхней части рис. 13.7 ломаной линией показана средняя дневная вариация наблюдаемой величины эффекта, а плавная линия показывает ее теоретическую вариацию. Если

это проявление эфирного ветра, то звездное время минимального значения амплитуды есть прямое восхождение апекса. Это 17 часов, время, находящееся в соответствии с прямым восхождением, полученным из азимутальной кривой. Склонение апекса зависит от минимума и максимума эффекта и от широты обсерватории. Вычисленное значение близко к +69°, оно согласуется с полученным из азимутальной кривой. Инструмент устроен так, что измеряемые азимут и величина скорости не зависят друг от друга; и только в том случае, если они вызваны одной и той же причиной, появляется между ними очевидная связь. Согласование вычисленного и наблюдаемого эффектов как для величины скорости, так и для азимута, уверенно указывает на реальную космическую причину. Этот результат не может быть истолкован как «нулевой» эффект, он не может быть вызван инструментальными или локальными возмущениями.

Тот факт, что направление и величина скорости наблюдаемого эфирного ветра не зависят от местного времени и постоянны по отношению к звездному времени, предполагает, что в наблюдениях влияние орбитального движения Земли очень незначительно. Проведенные эксперименты не показали эффекта от действия орбитального движения и, следовательно, они не более согласуются со старой теорией неподвижного эфира, чем эксперименты Майкельсона и Морли. Отсутствие орбитального эффекта позволяет считать, что постоянная скорость движения Земли в пространстве больше 200 км/с, но по некоторой невыясненной причине скорость относительного движения Земли и эфира в интерферометре на Маунт Вилсон уменьшается до 10 км/с; при этих условиях составляющая скорости, равная орбитальной скорости Земли, произведет получающийся в результате эффект, который безусловно ниже наименьшего значения, которое может быть измерено данным интерферометром. Это и есть та причина, которая привела к выводу о том, что скорость движения Солнечной системы составляет самое меньшее 200 км/с, а может быть и много больше.

Некоторые критики полагают, что ранние кливлендские наблюдения дали реальный нулевой эффект и что положительный эффект на Маунт Вилсон достигнут благодаря большей высоте. Это неверно. Числовые значения положительного эффекта в Кливленде и на Маунт Вилсон примерно соответствуют выполненным теперь наблюдениям (в Кливленде число их было невелико) и не-

возможно утверждать, что какой-либо эффект возник благодаря влиянию высоты. Если и есть некоторая доля влияния высоты, то она очень мала. Дальнейшие наблюдения в Кливленде делаются теперь для того, чтобы определить природу этого влияния.

Чтобы объяснить эти эффекты результатом действия эфирного ветра, представляется необходимым предположить, что Земля захватывает эфир так, что кажущееся относительное движение в точке наблюдения уменьшается с 200 км/с или более до 10 км/с и что этот захват, кроме того, смещает видимый азимут движения примерно на 60° к западу от севера. Возможно, что западное отклонение определено влиянием направления хребта Маунт Вилсон, протянувшегося с юго-востока на северо-запад. Уменьшение указанной скорости с 200 км/с или более до наблюдаемого значения 10 км/с может быть объяснено теорией сокращения тел Лоренца–Фицжеральда без привлечения представлений о захвате эфира. Это сокращение может зависеть или не зависеть от физических свойств тела, и оно может быть или не быть пропорциональным квадрату относительной скорости Земли и эфира. Очень слабое отклонение сокращения от значения, вычисленного Лоренцом, могло бы быть отнесено на счет наблюдаемого эффекта.

Числовые значения абсолютной скорости Солнечной системы, полученные из наблюдений эфирного ветра, вполне согласуются с результатами, полученными другими методами. Недавние исследования собственного движения звезд, выполненные Ральфом Вильсоном из Дадлеевской обсерватории, и радиального движения звезд, выполненные Кэмпбэллом и Муром из Ликовской обсерватории, дали апекс движения Солнца к созвездию Геркулеса с прямым восхождением 270° и склонением около +30° со скоростью около 19 км/с. Д-р Г.Штромберг из обсерватории Маунт Вилсон, исходя из результатов исследований шаровидных скоплений и спиральных галактик, установил движение Солнечной системы в точку, имеющую прямое восхождение 307° и склонение +56° со скоростью 300 км/с. Лундмарк, изучая спиральные галактики, установил факт движения со скоростью 400 км/с. Все различные определения движения Солнечной системы дают одинаковое общее направление, лежащее в пределах окружности, которая имеет радиус 20°. Принятая нами скорость 200 км/с есть просто нижний предел, она может составлять и 300 и 400 км/с. Первое предположение, следовательно, правдоподобно. Нахождение апекса в созвездии

Дракона с прямым восхождением 255° и склонением +68° находится внутри 6° от полюса эклиптики. Установленное движение Солнечной системы почти перпендикулярно плоскости эклиптики. Направление оси Солнца указывает в точку, находящуюся в пределах 12° от этого апекса. Нельзя не заинтересоваться, не меняется ли значение этих факторов со временем.

Аргумент, рассматриваемый теперь, может быть продемонстрирован только с помощью наблюдений, продолжающихся все 24 часа в сутки, для того, чтобы определить точную форму ежедневных вариаций скорости и азимута эффекта, и посредством наблюдений, сделанных в различное время года, чтобы выяснить зависимость эффекта от звездного времени. Ранние наблюдения 1887 и 1905 гг. были проведены в недостаточном количестве, и они не были распределены внутри суток таким образом, чтобы можно было рассчитать направление ветра. Эти ранние наблюдения были сделаны в целях определения орбитального движения Земли и, следовательно, были выполнены лишь в два выделенных момента суток, так что в один момент времени этот частичный эффект давал бы максимум, а в другой момент был равен нулю. Эти два момента в сутки были выбраны так, что азимуты орбитальной составляющей скорости движения должны были сильно различаться по величине. К тому же до 1925 г. эксперименты никогда не превышали интервала в 6 месяцев. Причиной того, что вторая серия экспериментов не была выполнена после этого интервала, проста: не было получено ожидаемого эффекта в первой серии.

Наблюдения, выполненные в Кливленде Майкельсоном и Морли в 1887 г, и позже, повторенные Морли и Миллером, были точно пересчитаны под настоящую гипотезу, поэтому ранних наблюдений не достаточно для определения направления ветра, но, тем не менее, они всецело совместимы с заключением, сделанным на основании экспериментов на Маунт Вилсон. Или иначе, настоящий результат полностью подтверждает результаты ранних экспериментов Майкельсона и Морли, не давая очевидного влияния орбитального движения Земли. В дополнение к этому с помощью последних экспериментов тщательно изучены остаточные эффекты, показавшие, что имеется систематический космический эффект, такой, как от реального эфирного ветра. Это заключение поставило новый вопрос, почему этот эффект меньше, чем ожидаемый по классической теории и почему направление эффекта на Маунт

Вилсон смещено к западу? Этот вопрос, конечно, не более труден, чем многие другие, теперь ожидающие своего решения.

Интерферометр снова установлен на территории Кейсовской школы прикладных наук в Кливленде около места, где в 1887 г. был проведен первый эксперимент Майкельсоном и Морли. Предполагается провести серию наблюдений для четырех периодов времени года, чтобы сравнить каждую серию с сериями Маунт Вилсон. Это даст информацию для возможного определения влияния на эффект местных условий; есть надежда, что будет определено влияние на эффект высоты и орбитального движения.

IV. Доктор Рой Кеннеди, Калифорнийский технологический институт

После публикации проф. Миллером своих выводов, представленных нам вчера, стало необходимым или, по крайней мере, весьма желательным независимое повторение эксперимента. Я собираюсь обсудить выполнение такого эксперимента этим утром.

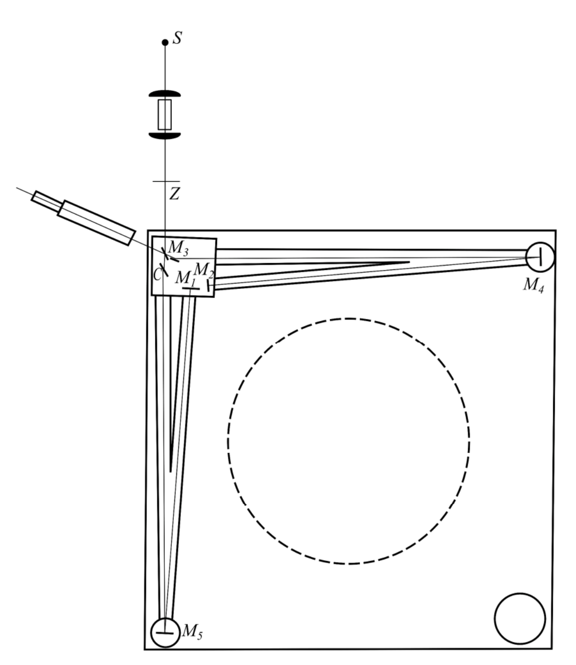


Рис. 13.8. Схема интерферометра Кеннеди в плане

В этом эксперименте световые пути были уменьшены примерно до 4 м, а требуемая чувствительность получена благодаря способности специального приспособления выделять очень малые смещения интерференционной картины. Вся оптическая система была ***заключена в закрытый металлический корпус***

(*выделено мной — В.А.*) (sealed metal case), содержащий гелий под атмосферным давлением. Благодаря малым размерам аппарат может быть эффективно изолирован, и циркуляции и вариации плотности газа в оптических путях практически исключены. Кроме того, поскольку величина $\mu-1$ для гелия составляет всего примерно одну десятую той же величины для воздуха, можно видеть, что нарушающие эффекты изменений плотности газа при атмосферном давлении будут соответственно в десять раз меньше, чем для воздуха. И действительно, было найдено, что дрожание интерференционной картинки было незначительным, и когда устанавливалось температурное равновесие, устойчивое смещение отсутствовало.

Схема аппарата в плане приведена на рис. 13.8. Оптические части смонтированы на мраморной плите квадратной формы со стороной 122 см и толщиной 10,5 см, которая покоилась на кольцеобразном поплавке, помещенном в чан со ртутью, имеющий диаметр в 77 см. Это просто уменьшенная копия первоначальной установки Майкельсона. Зеркала M_1, M_4, и M_5 зафиксированы в определенном положении; такие приспособления, как компенсационная пластина C и зеркало M_2, необходимо установить из положения наблюдателя у телескопа после того, как крышка будет поставлена на свое место. Зеленый свет с длиной волны λ = 5461 от маленькой ртутной дуговой лампы, прикрепленной к плите, выделялся с помощью системы линз и призм и пропускался через малое отверстие в экране Z. Лучи света тщательно ограничивались экранами и фокусировались с тем, чтобы предотвратить случайное попадание света в глаз и вследствие этого — уменьшение его чувствительности. Корректировки были выполнены так, что четкие линии формировались на поверхности M_1 и M_2, на которые фокусировался телескоп. Окончательные корректировки осуществлялись поворотом компенсационной пластины C с помощью точного дифференциального винта и помещения малых гирек около угла плиты; при таких условиях вес 5 г изменял положение тяжелой плиты вполне заметно. Регулировочные винты приводились в движение с помощью валиков, проходящих через короткие гибкие трубки, обеспечивающие свободное вращение, но не пропускающие воздух. После того как зеркала были предварительно выставлены, крышка осторожно устанавливалась на место, герметизируя плиту, а затем пространство под крышкой заполнялось гелием.

Схематически расположение частей интерферометра показано на рис. 13.9. Луч практически плоскопараллельного однородного света плоско поляризуется так, что его электрический вектор лежит в плоскости рисунка, двигается вправо и падает на зеркало M_3 под углом поляризации для данной длины волны. На верхней поверхности луч расщепляется с помощью тонкой платиновой пленки на две части примерно одинаковой интенсивности, одна пропускается к зеркалу M_1, а вторая к M_2. Оттуда они отражаются назад к M_3, где складываются и пропускаются в телескоп, сфокусированный на M_1 и M_2. Применением плоскополяризованного света достигаются две цели: первая та, что не интерферирующие лучи, показанные пунктирной линией, которые получались бы с естественным светом, полностью исключаются, и вторая та, что складывающиеся лучи могут быть отрегулированы так, чтобы улучшить интенсивность при различной относительной отражательной способности M_1 и M_2. Поскольку для верхнего луча существует на два перехода стекло–воздух больше, чем для нижнего, выровнять обе компоненты естественного света таким путем невозможно.

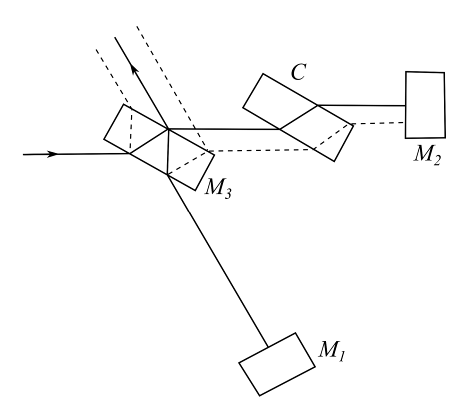


Рис. 13.9. Прохождение лучей света в интерферометре

Высокая чувствительность, необходимая из-за короткого пути света, обеспечена, главным образом, простым устройством для возвышения одной половины зеркала M_2 над другой на малую долю длины волны света, разделяющая линия между двумя уровнями прямая и четкая настолько, насколько это возможно. Зеркало было выполнено путем покрытия части стеклянной плоской пластины плоским с резко очерченными краями микроскопическим покровным стеклом и применением дополнительного слоя платины, нанесенного методом катодного напыления, после чего вся пластина давала полное отражение. Автору встречались предложения о при-

менении такого разделенного зеркала в интерферометрии несколько лет тому назад, но он не знает, кому эта идея принадлежит.

Теория приспособления следующая. Явление интерференции будет таким же, как если бы зеркало M_2 было заменено его изображением в M_3. В условиях эксперимента, в котором пути почти равны, M_1 перпендикулярно лучу, падающему на него, и отраженные лучи переносят изображение почти параллельно, изображение M_2 будет почти параллельно и совпадать с поверхностью M_1. Элементарная теория показывает, что результирующая интерференционная картина будет практически совпадать с M_1. Целесообразно дополнить это рассуждение развитием общей теории интерференции на все отклонения зеркал; экспериментальное обеспечение близкого параллелизма совершенно необходимо.

На рис. 13.10 показаны сильно увеличенные поперечное сечение M_1 и изображение M_2, нормальные к их плоскостям и к разделяющей линии в M_2. M_1 лежит в плоскости $x = 0$, а уровни M_2 находятся на равном расстоянии на противоположных сторонах от параллельной плоскости, находящейся на расстоянии x от M_1. Предположим, что монохроматическая волна, в которой смещение дано выражением $\xi = a\cos\omega\left(t+\varepsilon-\frac{x}{c}\right)$, падает на M_1 и M_2 слева. На поверхности M_1 смещение отраженной волны составит $\xi_1 = a\cos\omega(t+\varepsilon)$, если мы пренебрежем потерями несовершенного отражения. Смещение в плоскости M_1 в волне, отраженной от верхней части M_2 равно $\xi_2 = a\cos\omega\left[t+\varepsilon-\frac{2(x-\alpha)}{c}\right]$. Квадрат результирующего смещения составит

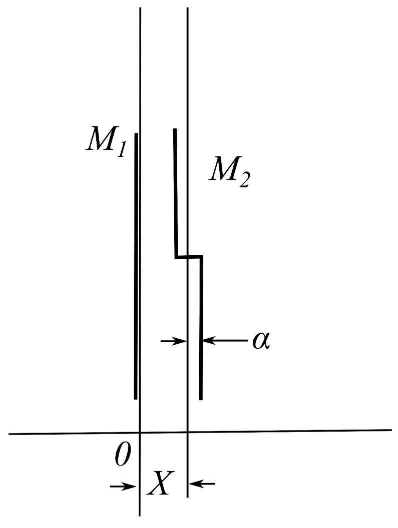


Рис. 13.10. Схематическое представление сечения ступенчатого зеркала

$$(\xi_1+\xi_2)^2 = a^2\left\{\cos\omega(t+\varepsilon)+\cos\omega\left[t+\varepsilon-\frac{2(x-\alpha)}{c}\right]\right\}.$$

Это выражение может быть преобразовано к виду

$$2a^2\left[1+\cos\frac{2\omega}{c}(x-\alpha)\right]\cos^2\omega(t-\delta).$$

Подобный же квадрат результирующего смещения в интерферирующих лучах ниже разделяющей линии находится как

$$2a^2\left[1+\cos\frac{2\omega}{c}(x+\alpha)\right]\cos^2\omega(t-\delta).$$

Интенсивность, пропорциональная квадрату амплитуды, может быть представлена в виде

$$I_1 = ka^2\left[1+\cos\frac{2\omega}{c}(x-\alpha)\right] \text{ и } I_2 = ka^2\left[1+\cos\frac{2\omega}{c}(x+\alpha)\right].$$

Здесь $\omega = 2\pi\nu$, где ν —частота света. Следовательно, $\frac{\omega}{c}=\frac{2\pi}{\lambda}$;

$$I_1 = ka^2\left[1+\cos\frac{4\pi}{\lambda}(x-\alpha)\right]; \quad I_2 = ka^2\left[1+\cos\frac{4\pi}{\lambda}(x+\alpha)\right].$$

Для величин $x=\frac{n\lambda}{4}$, где n — целое число,

$I_1 = ka^2(1\pm\cos\frac{4\pi\alpha}{\lambda})$, знак «+» для четных значений n и «–» для нечетных значений. Таким же выражением определится I_2, поэтому для этих условий $I_1 = I_2$. Следовательно, для наблюдателя поле зрения по обе стороны от разделяющей линии будет иметь равную интенсивность при $x=\frac{n\lambda}{4}$.

Теперь нам нужно определить минимальное изменение x, которое произведет ощутимое различие в освещенности обеих сторон поля. Если x даст вариацию δx пока α есть константа, то разница интенсивности составит $\delta I = \left(\frac{\partial I_1}{\partial x}-\frac{\partial I_2}{\partial x}\right)\delta x.$ Теперь

$\frac{\partial I_1}{\partial x} = \pm \frac{4\pi k a^2}{\lambda} \sin \frac{4\pi\alpha}{\lambda}$. Подобным же образом

$\frac{\partial I_2}{\partial x} = \pm \frac{4\pi k a^2}{\lambda} \sin \frac{4\pi\alpha}{\lambda}$; Следовательно

$\delta I = \pm \left[\frac{8\pi k a^2}{\lambda} \sin \frac{4\pi\alpha}{\lambda} \right] \delta x$, знак не имеет значения.

Распознаваемая вариация предопределена не только величиной δI, но также и отношением δI к полной интенсивности I_1 или I_2. В соответствии с законом Вебера–Фехнера, если δI дана как наименьшая ощутимая вариация интенсивности, приведенное выше отношение почти постоянно для широкого диапазона интенсивности. При таком значении $\delta I, \delta x$ получаем как наименьшее обнаруживаемое изменение положения M_2.

Если мы первоначально имеем неизменное освещение, то из приведенных выше выражений получим

$$\frac{\delta I}{I} = \frac{8\pi}{\lambda} \delta x \frac{\sin \frac{4\pi\alpha}{\lambda}}{1 \pm \cos \frac{4\pi\alpha}{\lambda}} \quad \text{или} \quad \delta x = \frac{\lambda}{8\pi} \frac{\delta I}{I} \frac{1 \pm \cos \frac{4\pi\alpha}{\lambda}}{\sin \frac{4\pi\alpha}{\lambda}}.$$

Если теперь $\delta I/I$ и в самом деле постоянно, то для случая знака «−», соответствующего темному освещению поля, мы должны иметь неопределенно возрастающую чувствительность по мере уменьшения фактора α. К несчастью, однако, I уменьшается с уменьшением α, а фехнеровская «константа» вскоре также быстро уменьшается. Тем не менее условия освещения и контрастность здесь подобны тем, которые имеются в полутеневом полярископе, а из теории инструмента Липпиха следует, что $\delta I/I$ примерно равна $8 \cdot 10^{-3}$. Недостаточное совершенство плоскостей зеркал и неодинаковость интенсивности интерферирующих лучей являются следующим ограничивающим фактором; небольшое экспериментирование показало, что α должно быть не меньшим, чем $0{,}025\lambda$, что и было в конце концов применено. Подставляя эту величину в последнее выражение, мы получили $\delta x = 5 \cdot 10^{-5} \lambda$ как наимень-

шее определяемое изменение в положении зеркал. Это соответствует изменению оптической длины пути $\delta l = 2\delta x = 10^{-4}\lambda$.

Чтобы наиболее полно использовать возможности приспособления потребовались бы более совершенные зеркала и более интенсивный и, следовательно, более горячий источник света, чем это было бы желательно вблизи чувствительного аппарата, так же как удлиннение интервалов между наблюдениями, таким образом допуская больше возможности проявить себя любым устойчивым температурным изменениям. Поэтому в эксперименте не нужно снижать значение δl более, чем до $2 \cdot 10^{-3}\lambda$; такие вариации обнаруживались без каких-либо сомнений.

На этом аппарате скорость 10 км/с, полученная Миллером, давала бы сдвиг, соответствующий $8 \cdot 10^{-3}$. длины волны зеленого цвета, что в четыре раза больше наименьшего определяемого значения.

Эксперимент проводился в лаборатории Норман Бридж, в помещении с постоянной температурой в различное время дня, но чаще во время, когда выводы Миллера обещают наибольший эффект. Чувствительность глаза исследовалась для каждого испытания помещением или снятием небольшого груза на плиту до и после ее вращения. При отсутствии флуктуаций в поле зрения не было необходимости усреднить результаты считываний. Как было показано, сдвиг, составляющий 1/4 сдвига по Миллеру, был бы замечен. Результат был совершенно определенным. Отсутствовал знак сдвига в зависимости от ориентации.

Поскольку эфирный ветер мог зависеть от высоты, эксперимент был повторен на Маунт Вилсон в здании обсерватории. Здесь эффект также был нулевым.

[*Запись, добавленная в апреле 1928 г.*: Иллингворт в Калифорнийском технологическом институте продолжил работу с прибором Кеннеди, используя усовершенствованные оптические поверхности и метод усреднения. Он сделал вывод о том, что скорости эфирного ветра, большей 1 км/с, не существует. [39]]

[39] Physical Review, 20, 692, 1927

V. Профессор Е. Р. Хедрик, Калифорнийский университет, Лос-Анжелес

[В связи с недостатком времени проф. Хедрик представил лишь краткое описание своего сообщения, подготовленного им и проф. Ингольдом из университета шт. Миссури.]

Введение

Известный опыт Майкельсона по определению относительного движения Земли и светоносного эфира был впервые поставлен в 1881 г.[40]. Возражения по поводу математической теории были высказаны Лоренцем в 1886 г.[41], и в 1887 г. теория была модифицирована Майкельсоном и Морли с учетом высказанных замечаний [42]. В настоящее время принята теория, соответствующая 1887 г.

До 1898 г. никаких серьезных возражений теория не вызывала. С этого времени, однако, появилось большое количество статей [43] по данному вопросу, включающих возражения то по одной, то по другой детали теории. Различия в мнениях возникали, главным образом, из-за различных концепций, касающихся механизма явления интерференции.

Ввиду широкого различия мнений относительно этого предмета целесообразно вновь разработать теорию на базе приемлемых гипотез, которые были использованы при работе с другими аспектами явления интерференции.

Часть настоящего исследования тесно связана с той частью ра-

---

[40] American Journal of Science. 1881. Vol. 22. P. 120.

[41] Archives Neerlandaises. 1886. Vol. 31, 2^{me} livre.

[42] Philosophical Magazine (5). 1887. Vol. 24. P.449.

[43] Мы упоминаем следующие: Sutherland, *ibid.* (5) 1898. Vol.46; Hicks, *ibid.* (6). 1902. Vol 3,9; Sutherland, *Nature*. 1900. Vol. 63. P. 205; Luroth, *Ber. d. Bayr. Ak. d. W.* 1909. Vol.7; Kohl, *Annalen der Physick*, 1909. Bd.28. S.259; Budde, *Physikalische Zeitschrift*. 1911. Bd. 12. S.979 und 1912. Bd. 13. S.825; Righi, *Sessions of Royal Institute of Bologna*. 1919 and 1920. Ответы на некоторые из этих статей приведены в следующих работах: Lodge, *Philisophical Magazine* (5). 1898. Vol.46; Morley and Miller, *ibid.* (6). 1905. Vol. 9. P.669; Laue, *Annalen d. Physik*. 1910. Vol.33. P. 186, and *Physikalische Zeitschrift*. 1912. Vol.13. P.501; Debye, *Beiblätter zu den Annalen der Physik*. 1910. Vol. 34.

боты Риги, доложенной Штейном [44], которая подтверждает своими независимыми вычислениями результаты, полученные Риги; это имеет большое значение, поскольку точность самой этой работы поставлена под сомнение [45].

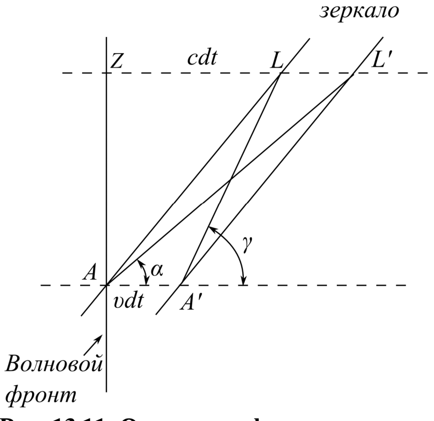


Рис. 13.11. Отражение фронта волны света от движущегося зеркала

Отражение от движущегося зеркала

Мы начинаем с получения некоторых общих формул для отражения света от движущегося зеркала. Рассматриваются два случая: а) направление движения зеркала совпадает с направлением лучей света перед отражением; б) направление движения зеркала образует угол θ с направлением лучей света.

а) Обозначим скорость света через c и скорость зеркала через v. Пусть h означает тангенс угла наклона зеркала в направлении движения.

Рис. 13.12. Движение зеркала под углом к направлению луча света

На рис. 13.11 AZ представляет фронт волны, движущейся на зеркало A. В то время как зеркало движется от AL к $A'L'$, часть волны от Z проходит расстояние ZL'. Следовательно, обозначая угол $A'AL'$ через α, получим

$$\tan\alpha = \frac{AZ}{ZL'} = \left(I - \frac{v}{c}\right)h = (1-\beta)h,$$

что соответствует положению

[44] Michelson's Experiment and its Interpretation according to Righi. *Memorie della Societa Astronomica Italiana*. 1920. Vol. 1. P.283.

[45] См. *Observatory*. 1921. Vol. 44. P.340-341.

эквивалентного неподвижного зеркала.

Аналогично $A'L'$ есть положение эквивалентного неподвижного зеркала для луча, приходящего с противоположного направления CA; и если мы обозначаем $CA'L$ через γ, то получим $\tan\gamma = (1+\beta)h$.

б) Если направление движения зеркала составляет угол θ с направлением лучей, то из рис. 13.12 видно, что зеркало в действительности движется со скоростью $v\cos\theta \frac{v\sin\theta}{h}$. Таким образом, формулы для этого случая могут быть получены из предыдущих путем подстановки $\beta\left(\cos\theta - \frac{\sin\theta}{h}\right)$ вместо β.

Если зеркало наклонено под углом 45° в направлении лучей света, то $h=1$ и $\tan\alpha = 1-\beta\,(\cos\theta - \sin\theta)$, в то время как $\tan\gamma = 1+\beta\,(\cos\theta - \sin\theta)$.

Применение к эксперименту Майкельсона–Морли

В эксперименте Майкельсона–Морли луч от источника света S (рис. 13.13) встречает в A полупрозрачную стеклянную пластину, наклоненную под углом 45° к его пути. Часть света отражается зеркалом B, параллельным SA, откуда вновь отражается для прохождения через пластину A' в и затем в телескоп в T. Другая часть пропускается через стеклянную пластину в A к зеркалу в C, перпендикулярному SA. от которого свет возвращается к стеклянной пластине в A' и от нее, кроме того, часть отражается в телескоп в T. Если зеркала установлены точно так, как описано, то мы называем эксперимент «идеальным экспериментом Майкельсона–Морли». Мы хотим вычислить угол $T'A'T$.

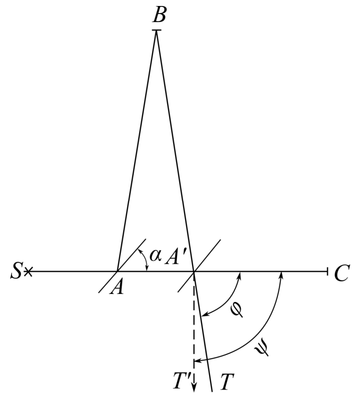


Рис. 13.13. Схема эксперимента Майкельсона-Морли

Предположим, что Земля и прибор движутся сквозь эфир в направлении, образующем угол θ с траекториями лучей SA.

Необходимо определить положение эквивалентного неподвижного зеркала в B.

Для удобства обозначим $\beta(\cos\theta - \sin\theta)$ как ξ, тогда угол $CAB = 2\alpha$, где $\tan\alpha = 1-\xi$.

На рис. 13.14, если BE есть фронт волны луча, отраженного от A, и, если зеркало в B движется от BM к $B'M'$ (расстояние r в направлении θ), тогда как часть волнового фронта в E движется к M', то BM' есть положение эквивалентного неподвижного зеркала. Обозначим угол MBM' через ρ,

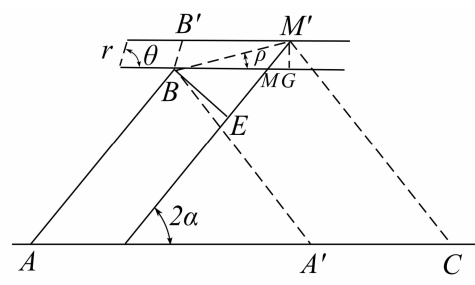


Рис. 13.14. Смещение фронта волны луча при движении зеркала в эксперименте

тогда $\tan\rho = \dfrac{GM'}{BG}$ где GM' перпендикулярно BM.

$$GM' = MM'\sin 2\alpha = r\sin\theta; \quad BG = BM + MM'\cos 2\alpha;$$

$$BM = \frac{EM}{\cos 2\alpha}; \quad \beta = \frac{r}{EM + MM'}.$$ Следовательно,

$$\tan\rho = \frac{r\sin\theta}{BM + MM'\cos 2\alpha} = \frac{r\beta\sin\theta}{\dfrac{EM\beta}{\cos 2\alpha} + MM'\beta\cos 2\alpha} = \frac{r\beta\sin\theta\cos 2\alpha}{r - r\beta\sin\theta\sin 2\alpha}.$$

Но $\tan\alpha = 1-\xi$; следовательно, для членов второго порядка

$$\sin\alpha = 1 - \frac{\xi^2}{2}, \quad \cos 2\alpha = \xi + \frac{\xi^2}{2}.$$

Подставляя эти величины в выражение для $\tan\rho$, получим:

$$\tan\rho = \beta^2\sin\theta(\cos\theta - \sin\theta).$$

Если теперь мы обозначим угол $CA'T$ через ϕ, а угол $CA'T'$ через ψ, то, помня, что ϕ и ψ — отрицательные углы, получим: $\phi + \rho = 2\alpha - \rho$ или $\phi = 2(\rho - \alpha)$ $\quad \psi = 2\gamma - 180^\circ$.

Таким образом, положительный угол

$$T'A'T = \phi - \psi = 2\rho - 2\alpha - 2\gamma + 180^\circ.$$

Чтобы определить тангенс этого угла, найдем

$$\tan(-2\alpha) = -\frac{2(1-\xi)}{1-(1+\xi)^2}, \quad \tan(2\gamma - 180^\circ) = -\frac{2(1+\xi)}{1-(1+\xi)^2},$$

и, следовательно, $\tan(-2\alpha - 2\gamma + 180^\circ) = \dfrac{4\xi^2}{4-\xi^4}$.

Из этого получаем $\tan(\phi-\psi) = \dfrac{\xi^2 + 2\beta^2 \sin\theta(\cos\theta - \sin\theta)}{1 - 2\beta^2\xi^2 \sin\theta(\cos\theta - \sin\theta)}$

ак как $\tan 2\rho = 2\beta^2 \sin\theta(\cos\theta - \sin\theta)$ для членов второго порядка. Окончательно получим: $\tan(\phi - \psi) = \beta^2 \cos 2\theta$.

Эта формула была получена Риги, сделавшим на ее основе вывод, что вращение прибора на 90° в идеальном эксперименте не вызывает абсолютно никакого эффекта, так как, несмотря на обмен расстояний, пройденных двумя лучами, их положения в это же время также обмениваются; таким образом луч, имеющий более длинный путь, занимает такую же относительную позицию по отношению к лучу, имеющему более короткую траекторию после вращения, как и ранее. Отсюда следует, что картина интерференционных полос после поворота не может быть отличима от той, что была до поворота [46].

Обычная теория

Тщательное вычисление разницы длины путей, пройденных двумя лучами, дает тот же самый результат, какой дается в обычной теории, а именно: $\beta^2 \cos 2\theta$. Фактически было также известно, что при идеальных условиях существует разность второго порядка в направлениях конечных лучей. [47] Существовало мнение, что эта разность в направлениях может оказать влияние на разность во времени для телескопа и, следовательно, на разность в фа-

[46] См., например, Larmor. *Aether and Matter*. P. 53.
[47] См. Michelson and Morley, loc. cit.; также Larmor, p. 48.

зе только на величину третьего порядка в β. Таким образом, считалось, что эта разница не имела влияния на положение интерференционных полос, хотя и могла изменять ширину полос.

В следующем разделе мы исследуем, насколько это возможно, справедливость этого старого мнения. В качестве основы для исследования мы используем принцип механизма явления интерференции, использованный в других случаях. Законно ли его применение в данном примере, можно решить экспериментальным путем, но в данном случае отсутствуют какие-либо видимые причины для отказа от этого применения.

Можно отметить, что совершенно независимо от какой-либо специальной гипотезы, касающейся явления интерференции, доказательство Риги, приведенное в выводах предыдущего раздела, абсолютно доказывает, что изменением второго порядка в угле между конечными лучами, по крайней мере, можно пренебречь, так как в идеальном эксперименте ожидаемый сдвиг для вращения на 90° пропорционален $2\beta^2$, если этот угол не принимается во внимание, но сдвиг равен нулю, если угол принимается во внимание.

Возможное влияние разности угла на положение интерференционных полос

На рис. 13.15 показана схема волновых фронтов двух интерферирующих лучей. Пространство между F_1 и F_2 представляет собой центральную светлую полосу.

Пусть луч s изменит свое направление относительно луча t на $\Delta\alpha$. Если новый волновой фронт f_2 встречает старый волновой фронт f_1 возле кромки полосы на N, то центр полосы будет сдвинут влево от M до M'. Величина этого сдвига, зависящая полностью от изменения угла между лучами, будет зависеть и от расстояния от точки пересечения последовательных волновых фронтов до кромки полосы. При приближении этой точки к центру полосы расстоянием MM' можно пренебречь. В этом случае эффект выражается в расширении полосы без заметного изменения положения ее центра.

Нижеследующее основано на гипотезе, что расстояния, пройденные двумя лучами, не изменяются. Если расстояние, пересекае-

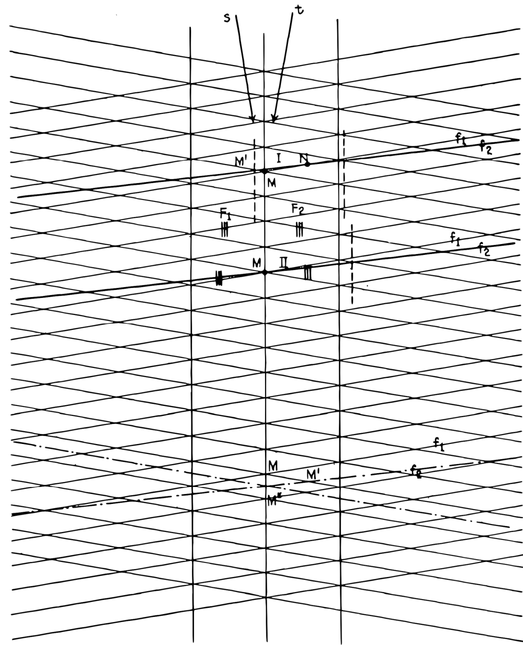


Рис. 13.15. Схема расположения волновых фронтов интерферирующих лучей

мое t, изменится, то волновой фронт LM примет новое положение, обозначенное штриховой линией.

Теперь фактически два изменения происходят одновременно, и поскольку оба являются периодическими, то кажется неизбежным, что точка пересечения f_1 и f_2 должна в конце концов приблизиться настолько, что произведет заметное смещение полос.

Возможно, конечно, что два эффекта смогут нейтрализовать друг друга, как показано в нижней части рисунка, где точка пересечения лучей выходит за центральную полосу.

Формула для сдвига полос

Представляется невозможным получить формулу для сдвига полос, не делая определенных предположений относительно природы явления интерференции.

Кажется, что простейшей процедурой является изучение схемы параллелограммов, вычерченных таким образом, что каждая система параллельных сторон представляет собой последующие положения какой-либо фазы волн в соответствующем луче.

Пусть рис. 13.15 представляет собой такую схему параллелограммов и пусть a означает расстояние от середины центральной полосы вправо до какого-либо удобного начала отсчета. Это расстояние будет зависеть от начальной регулировки между расстояниями, пройденными двумя лучами.

Если договориться об учете только относительных положений и длин путей двух лучей s и t, то можно предположить, что один из лучей остается фиксированным по длине, в то время как другой остается фиксированным по направлению.

Предположим, что луч t вращается вокруг точки в окрестностях своего изображения. Тогда можно предположить, что одна из линий f, представляющая одну из фаз t, охватывает окружность. Пусть b означает расстояние вправо от точки контакта этого круга с f в его начальном положении.

Используем следующую систему обозначений: a' равно новому значению a в связи с изменением длины s; b' равно новому значению b в связи с изменением направления t; M' означает середину центральной полосы после изменения длины s; M'' означает конечную позицию центральной полосы.

После поворота прибора на угол θ получим:

$$a' = a - D\beta^2(1-\cos 2\theta), \quad b' = b + D\beta^2(1-\cos 2\theta),$$
$$\frac{M'M''}{1-\cos 2\theta} = \frac{a-b-2D\beta^2(1-\cos 2\theta)}{r+\cos 2\theta}.$$

Прибавляя $M'M''$ к a', получим для положения M'' новую срединную точку центральной полосы:

$$a'' = \frac{a(r+1) + b\cos 2\theta - D\beta^2[r+2-(r+3)\cos 2\theta + cos^2 2\theta]}{r+\cos 2\theta}.$$

Положение максимального сдвига

Выражение, приведенное в предыдущем разделе, показывает, что полосы имеют периодическое движение в пределах поля зрения телескопа. Максимум и минимум положения M, однако, зависят от значений *a*, *b* и *r*. Значения *a* и *r* зависят от начальной регулировки, а значение *b*, очевидно, будет различным для экспериментов, проводимых в разное время.

Если затем не будут предприняты попытки управления значениями этих величин, то можно предположить, что максимальные и минимальные положения для серии отсчетов будут иметь полностью случайные распределения. Поэтому будет неправомерным просто усреднить выводы серий наблюдений, как это было сделано

в эксперименте Майкельсона–Морли. Фактически будет высокая степень вероятности того, что эта процедура приведет к чрезвычайно незначительным результатам, если ее применить к большому количеству наблюдений.

[Проф. Хедрик заметил в конце доклада, что его результаты были рассмотрены проф. Эпштейном с точки зрения физики. Результаты дискуссии любезно представлены для публикации].

VI. Профессор Пауль С.Эпштейн, Калифорнийский технологический институт

* Результаты анализа Хедрика заключаются в том, что два луча света получают разность фаз $\delta - \delta' = h\beta^2 \cos 2\theta$ и разность направлений $\Delta\alpha = \beta^2 \cos 2\theta \left(\beta = \frac{v}{c} \right)$, где членами четвертого порядка можно пренебречь.

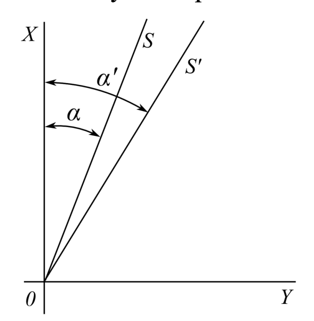


Рис. 13.16. Пересечение двух лучей света

Выберем теперь плоскость, в которой мы наблюдаем полосы, как $x = o$ декартовой системы координат (рис. 13.16). Мы можем представить две волны выражениями (s — световой вектор):

$$s = A\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x\cos\alpha + y\sin\alpha + ct) + \delta\right],$$

$$s' = A\cos\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x\cos\alpha' + y\sin\alpha' + ct) + \delta'\right].$$

Освещение экрана определится при $(x = o, sin\alpha = \alpha)$, как

$$(s+s')^2 = 4A^2\cos^2\left[\frac{2\pi}{\lambda}y(\alpha-\alpha') + \delta - \delta'\right]\cos^2\left[\frac{2\pi}{\lambda}y(\alpha+\alpha') + 2ct + \delta + \delta'\right]$$

* Эпштейн, Пауль Софус (Павел Зигмундович) (1883—1966) — российский и американский физик-теоретик, член Национальной академии наук США. — *Прим. ред.*

$$= 2A^2 \cos^2\left[\frac{2\pi}{\lambda} y(\alpha - \alpha') + \delta - \delta'\right].$$

Функция имеет максимум, когда аргумент косинуса кратен π. Положение центральной полосы дается как

$$\frac{2\pi}{\lambda} y_0(\alpha - \alpha') + \delta - \delta' = 0,$$

$$y_0 = -\frac{\lambda}{2\pi}\frac{\delta - \delta'}{\alpha - \alpha'}. \qquad (1)$$

Расстояние между двумя максимумами, или ширина полос, определяется уравнением $\frac{2\pi}{\lambda}\Delta y(\alpha - \alpha') + \delta - \delta' = \pi,$ или

$$\Delta y = \frac{\pi - (\delta - \delta')}{\alpha - \alpha'} \cdot \frac{\lambda}{2\pi}. \qquad (2)$$

Вначале рассмотрим интерферометр в покое. Мы не сможем обеспечить идеальную регулировку, так как тогда не будем иметь полос. Формула (2) показывает, что для получения конечной ширины полос должна быть полезная разность $\alpha_0 - \alpha'_0$. Эта ширина составляет около 1 мм, так что при $(\delta - \delta' = 0)$ мы получим порядок величины

$$\alpha_0 - \alpha'_0 = \frac{\lambda}{2\Delta y} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 10^{-1}} = 2{,}5 \cdot 10^{-4}.$$

В реальном эксперименте дополнительно к $\alpha_0 - \alpha'_0$ есть поворот на $\Delta\alpha$:

$$\alpha - \alpha' = \alpha_0 - \alpha'_0 + \Delta\alpha, \qquad y_0 = -\frac{\lambda}{2\pi}\frac{\delta - \delta'}{\alpha_0 - \alpha'_0 + \Delta\alpha}.$$

Порядок величин:

$$\Delta\alpha = \left(\frac{v}{c}\right)^2 \cos 2\theta = \left(\frac{3 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^{10}}\right)^2 \cos 2\theta = 10^{-8} \cos 2\theta.$$

Следовательно, допустимо расширение

$$y_0 = -\frac{\lambda}{2\pi}\left(\frac{\delta-\delta'}{\alpha_0-\alpha'_0} - \frac{\delta-\delta'}{(\alpha_0-\alpha'_0)^2}\Delta\alpha\right),$$

$$y_0 = -\frac{\lambda}{2\pi}\frac{\delta-\delta'}{\alpha_0-\alpha'_0}\left(1-\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0-\alpha'_0}\right).$$

Первый член выражения представляет собой сдвиг в связи с разностью фаз, а второй связан с поворотом. Видно, что он составляет $0{,}4\cdot10^{-4}$ первого члена, и совершенно очевидно, что находится вне возможностей наблюдения в условиях эксперимента Майкельсона, Морли и Миллера.

Интересно, что в идеальном случае

$$y_0 = -\frac{\lambda}{2\pi}\frac{\delta-\delta'}{\Delta\alpha} = -\frac{\lambda}{2\pi}\frac{h\beta^2\cos2\theta}{\beta^2\cos2\theta} = -\frac{\lambda h}{2\pi}.$$

Таким образом, мы имеем постоянное положение независимо от ориентации прибора. Если бы Майкельсон проделал эксперимент так, чтобы иметь не полосы, но свет в определенном положении идеально отрегулированного интерферометра, ожидая получить темноту в другом положении, вследствие разности фаз, то эксперимент ничего бы не доказал.

Устройство доктора Кеннеди занимает промежуточное положение. Он берет полосы значительно большей ширины. Ширина, необходимая для получения заметной ошибки, равна приблизительно 250 см, однако совершенно определенно, что полосы в приборе не были столь широки. Теория Хедрика очень интересна и важна в сочетании с экспериментом Кеннеди.

VII. Профессор Пауль С.Эпштейн, Калифорнийский технологический институт

Я не могу сообщить сегодня что-либо свое, а намереваюсь дать краткий обзор ряда недавних экспериментов, касающихся опыта

Миллера, выполненного в основном вне Пасадены. Я дам краткое объяснение трех экспериментов, осуществленных Томашеком в Германии, Чейзом в Пасадене и Пиккаром в Брюсселе.

В одном из своих экспериментов Томашек использовал следующее устройство. В непосредственной близости от заряженного конденсатора I (рис. 13.17) подвешивалась магнитная стрелка II. Эксперимент был направлен на проверку старой идеи Рентгена, заключающейся в следующем. Заряженный конденсатор, будучи в движении, представляет собой систему параллельных токов, движущихся в противоположных направлениях. Эти токи образуют магнитные поля, влияющие на магнитную стрелку. Если конденсатор движется относительно эфира, то должно быть обнаружено отклонение магнитной стрелки. В действительности этот прибор не может обеспечить удовлетворительных условий для выбора между старой и новой теориями. Точный анализ показывает, что обе теории ведут к одинаковому результату, так как это эффект первого порядка. Объяснение отсутствия эффекта заключается в том, что движется не только конденсатор, но и индицирующая магнитная стрелка. Это вызывает второй крутящий момент, уравновешивающий первый. ***Более того, Томашек выполнял опыт с металлическим покрытием вокруг стрелки. В такой компоновке, исключающей все магнитные взаимодействия между I и II, он исключал любой эффект, который мог возникать без экранирования.*** (курсив мой – *Прим. ред.*) Поэтому неудивительно, что он не получил положительного эффекта. Он мог бы сохранить свои усилия, не пытаясь экспериментировать вообще.

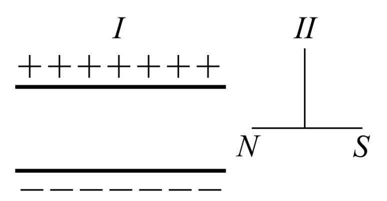


Рис. 13.17. Эксперимент Томашека с заряженным конденсатором: *I* — заряженный конденсатор; *II* — магнитная стрелка на подвесе

Томашек и независимо от него Чейз в нашей лаборатории повторили старый эксперимент Троутона и Нобля более точным, как они думали, способом. В его основе лежала следующая идея.

Предположим I (см. рис. 13.17), заряженный конденсатор, подвешен таким образом, что он может вращаться. Для конденсатора в состоянии покоя существует только сила притяжения между двумя пластинами в связи с наличием зарядов противоположного знака. В находящемся в движении со скоростью v (рис. 13.18) аппарате положительный заряд движется в магнитном поле, возникающем от движения отрицательного заряда, и наоборот. Следовательно, две дополнительные силы воздействуют на конденсатор, и они обнаруживают себя как вращающие моменты, так что следует ожидать вращения конденсатора. Можно легко вычислить этот вращающий момент:

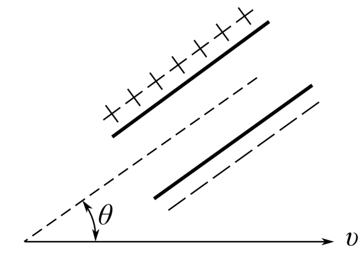


Рис. 13.18. Заряженный конденсатор в движении (92)

$$M = \frac{U}{\varepsilon}\left(\frac{v}{c}\right)^2 \sin 2\theta \cos 2\varphi,$$

где U – энергия, содержащаяся в конденсаторе; ε — диэлектрическая проницаемость материала, заполняющего конденсатор; φ — азимут, характеризующий проекцию v на плоскость конденсатора по отношению к подвеске.

Следующая формула получена на основе предположения, что диэлектрическая среда может рассматриваться как континуум. Структура ε во внимание не принимается, но это не имеет значения. И Томашек, и Чейз использовали не один конденсатор, а большое количество пластин для получения большой емкости и, следовательно, имели большую электрическую энергию.

Вращающий момент практически одинаков как для классической теории, так и для теории относительности, различие лишь в некоторых членах четвертого порядка, которые не имеют практического значения. Несмотря на существование вращающего момента, теория относительности утверждает, что никакого эффекта наблюдать нельзя. Это происходит потому, что вращающий момент определенным образом компенсируется. Объяснение этого любопытного факта можно найти в тензорном характере массы в теории относительности. В этой теории масса имеет различное значение при ускорении в направлении движения (m_l) и под прямыми углами к нему (m_{tr}). Соотношение масс дается выражением

$$\frac{m_l}{m_{tr}} = \frac{1}{1-(v/c)^2}\,.$$

Для того чтобы проанализировать эффект вращающего момента, найденного выше, необходимо разделить действующие силы на два компонента: один в направлении движения, другой — под прямыми углами к нему. Первый компонент действует против более тяжелой массы m_l и вызывает относительно более слабое ускорение, чем второй. Таким образом, получается, что два ускорения как векторы указывают на центр тяжести системы (конденсатора), хотя силы этого не делают. При этом вращающий момент компенсируется в конечном эффекте. Таким образом, видно, что тензор массы является причиной отсутствия эффекта. Сокращение Лоренца не было принято во внимание совсем. Даже в случае отсутствия сокращения Лоренца эффект на конденсаторе нами не был получен. Если бы, однако, эффект наблюдался, это было бы противоречием теории относительности, так как соотношение m_l/m_{tr} есть прямое следствие этой теории. Томашек и Чейз заявили, что можно определить некомпенсированный момент, соответствующий скорости 4 км/с. Для меньших скоростей их аппаратами отклонение определить нельзя. Это ограничение по точности получено на основе предположения о воздействии этого момента. Сейчас это предположение не представляется достаточно верным даже с точки зрения классической теории. Поскольку ядра атомов имеют электрическое строение, в классической теории необходимо принимать во внимание определенное отношение между массой и скоростью ядер. Рассматривая ядра как прочные сферы (Абрагам), находим:

$$\frac{m_l}{m_{tr}} = \frac{1/(1-\beta^2)}{1/(1-\frac{4}{5}\beta^2)}.$$

Если использовать эту формулу, момент будет скомпенсирован частично, но не полностью, как в теории относительности. Из формулы легко определить, что 20 % вычисленного момента проявит себя как отклонение. Минимальная скорость, которую мог бы наблюдать Чейз, была равна $4\sqrt{5}$ км/с, что близко к значению 10 км/с, полученному Миллером. Будучи интересными, эти эксперименты сами по себе не могут говорить за или против результатов

Миллера. Для этого было бы хорошо провести их с более высокой точностью.

Несколько замечаний относительно эксперимента Пиккара в Брюсселе. Пиккар думал, что высота над поверхностью Земли должна иметь влияние на эффект, найденный Миллером. Это заблуждение, так как Миллер не заявлял о таком влиянии. Если предположить, что эфирный ветер на Маунт Вилсон больше, чем на уровне моря, то он должен быть еще больше в свободной атмосфере. Пиккар предпринял эксперимент с аэростатом. Его интерферометр имел плечи с оптическим путем, равным 2,8 м. Постоянство температуры поддерживалось термостатом. Аэростат вращался вдоль вертикальной оси пропеллером. Самописцем было зарегистрировано 96 оборотов. Был проведен гармонический анализ полученных кривых, но оказалось, что термостат не функционировал так, как ожидалось. Из-за этого случайные ошибки были слишком велики (возможная ошибка соответствовала скорости 7 км/с). Все, что заявляет Пиккар, – это то, что на высоте 2300 м в свободной атмосфере эфирный ветер не больше, чем на Маунт Вилсон. Никаких других выводов из этого эксперимента сделать нельзя.

[*Запись, добавленная в апреле 1928 г.*: Чейз и Пиккар продолжали работу, после чего Чейз, работавший в Гарварде, увеличил точность своих измерений в три раза. Даже с учетом коэффициента 1/5, упомянутого выше, его новый аппарат смог бы определить скорость эфирного ветра 3 км/с. В пределах такой точности его результаты были отрицательными, обеспечивая тем самым значительную поддержку теории относительности [48]. Наиболее точная и недавно законченная работа Пиккара выполнялась совместно с Стаэлем на наибольшей высоте в 1800 м. Был использован такой же самозаписывающий интерферометр с термостатом. Результаты были полностью отрицательными, эфирный ветер составлял лишь 1/40 ожидаемого по Миллеру [49].]

---

[48] Physical Review. 1927. Vol. 30. P.516.

[49] Die Naturwissenschaften. 1928. Vol. 16. P. 25.

Дискуссия

[***Д-р Адамс***, директор обсерватории, открыл дискуссию, выражая надежду, что проф. Лоренц и проф. Майкельсон выскажут свое мнение относительно соображений Риги и Хедрика].

Проф. Лоренц: Я ощущаю некоторую вину относительно работы Рига. Я прочел его работы давно и недостаточно хорошо помню их содержание, так как был занят последние годы абсолютно другими вещами. Необходимо было прочитать их снова, но я не смог сделать это вследствие большой занятости в Пасадене. После прочтения доклада Хедрика я намеревался очень тщательно исследовать эти вопросы вновь в связи с экспериментом Миллера. Более того, необходимо вновь принять во внимание соображения Брилинского. Без подготовки я могу лишь сказать, что результаты Хедрика противоречат тем, которые я представил вчера. До сегодняшнего дня я считал вполне удовлетворительными соображения, основанные на принципе Ферма. Однако после сообщения г-на Хедрика я должен тщательно рассмотреть эти вопросы. По результатам Хедрика получается, что результат, ожидаемый в эксперименте Майкельсона–Морли, в числовом отношении отличается от того, который мы обычно ожидаем на базе классической теории. Числовое значение эффекта второго порядка будет отличаться от вычисленного Майкельсоном. Мой вариант предоставляется мне наиболее легким и прямым. Все же необходимо найти, в чем находится расхождение между двумя способами. В случае выбора метода, отличного от метода Ферма, необходимо проделать значительную работу. Необходимо очень тщательно, например, разграничить лучи света и перпендикуляры к цугам волн. Но, поскольку имеются расхождения между результатами, полученными двумя методами, я собираюсь проделать детальные вычисления как можно быстрее. Пока же я надеюсь, что мои общие соображения верны.

Теперь я хотел бы сделать несколько замечаний по поводу эксперимента Миллера. Я считаю, что существует серьезная проблема, связанная с эффектом, периодическим для полного оборота аппарата, и сброшенная со счетов Миллером, подчеркивающим значение эффекта полупериода, то есть повторяющегося при полуобороте аппарата, и касающаяся вопроса об эфирном ветре. Во многих случаях эффект полного периода значительно больше эффекта по-

лупериода. По Миллеру эффект полного периода зависит от ширины полос и будет нулевым для неопределенно широких полос.

Хотя Миллер утверждает, что он смог исключить этот эффект в значительной степени в своих замерах в Кливленде, и это можно легко объяснить в эксперименте, я хотел бы более четко понять причины этого. Говоря в данный момент как приверженец теории относительности, я должен утверждать, что такого эффекта вовсе не существует. Действительно, поворот аппарата в целом, включая источник света, не дает какого-либо сдвига с точки зрения теории относительности. Никакого эффекта не должно быть, когда Земля и аппарат находятся в покое. По Эйнштейну такое же отсутствие эффекта должно наблюдаться для движущейся Земли. Эффект полного периода, таким образом, находится в противоречии с теорией относительности и имеет большое значение. Если затем Миллер обнаружил систематические эффекты, существование которых нельзя отрицать, важно также узнать причину эффекта полного периода.

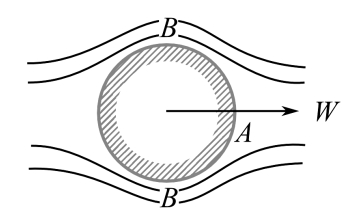


Рис. 13.19. Обтекание Земли потоком эфира

Рассмотрим эффект полупериода. Просмотрев различные диаграммы, я думаю, что вряд ли имеется сомнение в том, что существует истинное смещение полос в устройстве Миллера. Возникает вопрос о его возможной причине. Миллер предлагает несколько очень интересных вариантов. Его вывод заключается в том, что найденный эффект соответствует абсолютной скорости 10 км/с и для определенного звездного времени является постоянным в течение года. Он, конечно, не связан с орбитальным движением Земли, но означает движение Солнечной системы относительно системы звезд такого же типа, которое определено г-ном Штромбергом с совершенно другой точки зрения. Скорость этого движения оценивается по крайней мере в 200 км/с. По той или иной причине полная относительная скорость эфира и Земли не проявляется. Иначе нельзя объяснить отсутствие эффекта относительного орбитального движения Земли. Необходимо, однако, упомянуть следующее. Можно допустить, как это делает Миллер, что происходит лишь частичное увлечение, так как Земля, например, не полностью непроницаема для эфира. Но тогда необходимо принять во внимание

следующее. Предположим, *w* есть скорость Земли относительно эфира, который покоится на *C*. Если эфир ведет себя как идеальная жидкость, относительная скорость в нем на *A* с учетом *B* будет достигать *w/z*. Миллер объясняет дневные вариации в амплитуде способом, ясным из рис. 13.20. В соответствии с изложенным *w* не может рассматриваться как вектор постоянной длины, но будет сама изменяться в течение суток. Это, разумеется, делает интерпретацию дрейфа более сложной.

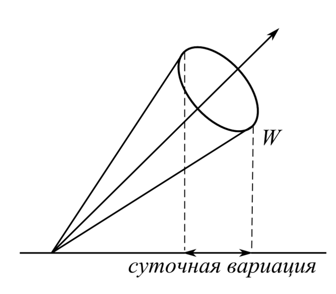


Рис. 35.20. Изменение проекции относительной скорости эфира и Земли в точке измерения под действием суточного вращения Земли

Что касается среднего смещения азимута к западу (50°), то это объяснить трудно. К счастью, однако, оно также периодически изменяется со звездным временем. Иначе трудно не заподозрить, что весь эффект вызван какими-либо лабораторными причинами.

Несколько слов об отчете Пиккара. Я видел полосы в его лаборатории, и они действительно великолепны. Между прочим, Пиккар рассматривает свой эксперимент как предварительный, который будет им значительно усовершенствован в дальнейшем. Он работал в очень неблагоприятных условиях, так как ночь его первого подъема была необычно теплой. Должен отметить ради интереса, что такие наблюдения, какие выполнил Пиккар, очень изматывают. То же, конечно, относится к наблюдениям г-на Миллера. Пиккар сообщил мне, что не заметил каких-либо физиологических эффектов во вращающемся аэростате, связанных с центробежной силой, но движения в вертикальном направлении, раскачивающие голову, были очень болезненными вследствие эффектов силы Кориолиса.

Проф. А. А. Майкельсон: Я хочу задать несколько вопросов. Связывает ли г-н Миллер свои результаты с намерениями найти орбитальный эффект (эффект, связанный с движением Земли по своей орбите вокруг Солнца)?

Проф. Д. К. Миллер: Конечно. Именно для этой цели наблюдения выполнялись в четыре этапа, приблизительно с интервалами в три месяца. Таким образом, направление орбитальной компонен-

ты движения изменяется от этапа к этапу на 90°. Наблюдения для каждого этапа (эпохи) были сокращены для определения истинного результирующего движения для этой эпохи. Апекс движения, показанный всеми наблюдениями, находится возле полюса эклиптики и, следовательно, орбитальное движение может проявить себя в изменении положения этого апекса от эпохи к эпохе. То есть будет происходить определенная годичная аберрация апекса.

Сравнение результатов по четырем датам не показывает убедительного доказательства для этого эффекта. Я, однако, надеюсь, что при наличии нескольких серий наблюдений для каждой эпохи влияние орбитального движения может быть доказано. Фактически полученный положительный эффект соответствует скорости относительного движения Земли и эфира приблизительно 10 км/с при вероятной погрешности 0,5 км/с. Отсюда следует, что эффект орбитального движения на наблюдаемую результирующую скорость должен быть меньше чем 0,5 км/с.

Майкельсон: Какова возможная погрешность для значения 0,5 км/с?

Миллер: Это значение 0,5 км/с есть сама по себе вероятная погрешность измерения эффекта, как это определяется из вычислений. Поскольку никакого эффекта, который может быть положительно отнесен к орбитальному движению, определено не было, можно сказать, что такой эффект при условии его существования должен быть менее 0,5 км/с.

Майкельсон: Извините за настойчивость. Такая оценка вероятной погрешности основана на эксперименте, который не предназначен для определения эффекта движения Земли вовсе. Вы не могли найти вероятную погрешность, рассматривая наблюдения с точки зрения определения орбитального движения?

Миллер: Я не вычислял погрешность с такой точки зрения.

Майкельсон: Однако это можно было сделать. Я искренне хотел бы видеть такие вычисления.

Если бы я ранее знал о великолепном и оригинальном устройстве Кеннеди, я, вероятно, не проводил бы свои нынешние эксперименты в такой форме. В любом случае рассматриваемая проблема должна быть исследована в дальнейшем. Даже более точное повторение экспериментов с помощью старых устройств будет иметь

большое значение для надежности результатов. Нам необходимо определенно выяснить, что есть истина без предубеждений.

Относительно эксперимента Кеннеди я рад, что мне пришла в голову эта идея тоже. Я собирался использовать фотометрическое сравнение поля, образованного светом, который отражается от разделенного зеркала, обе полуповерхности которого находятся на расстоянии доли длины волны. Но мне не пришло в голову, что разделение можно осуществить напылением так удачно. Я собирался использовать для снятия слоя кислоты. Прибор Кеннеди так великолепен, что я хотел бы работать с подобным устройством, если господин Кеннеди не будет возражать.

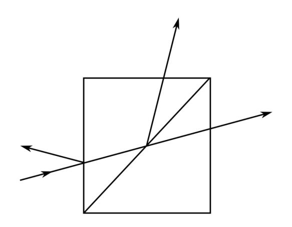


Рис. 13.21. Устройство из двух призм для повышения четкости интерференционной картины

По поводу замечаний г-на Пиккара (см. выступление Лоренца). Я должен сказать, что всякий новичок считает себя счастливым, если он способен наблюдать сдвиг полос в 1/20 полосы. Необходимо заметить, однако, что при некоторой практике можно измерять сдвиги в 1/100, а в очень благоприятных случаях и в 1/1000 полосы. Для этой цели полосы должны быть очень черными. С помощью нашего нового аппарата мы значительно продвинулись в представлении таких полос [аппарат был выставлен в лаборатории]. Главное заключается, конечно, в исключении всякого рассеянного света, исходящего особенно от пластины с серебряным покрытием. Обычная пластина вызывает отражение на обеих поверхностях. Мне удалось избавиться от рассеянного света с помощью простого устройства, показанного на рис. 13.21, состоящего из двух призм с полупрозрачной посеребреной поверхностью, по которой они находятся в контакте, ориентированных так, что падающий свет не совсем перпендикулярен поверхности первой призмы. С помощью комбинации этих призм могут быть получены очень черные полосы. Существуют некоторые трудности, касающиеся разделения поверхностей, которые я надеюсь вскоре преодолеть, а возможно, что будет достигнута точность порядка 1/1000 полосы.

Я хотел бы сделать некоторые замечания по поводу интерпретации экспериментов Миллера. Мне кажется, что их трудно объяснить. Действительно, почему эфир должен испытывать сопротивление вдоль Земли до степени 19/20, а не в каком-либо другом соотношении? Если это так, то нужно предположить, что существует большая разница между сопротивлением на поверхности Земли и на высоте тысяча миль. Вероятно, там сопротивление будет равно нулю. Предположив для примера некоторую зависимость уменьшения сопротивления от высоты по экспоненте, можно ожидать большой разницы между сдвигом на уровне моря и на Маунт Вилсон. В этом случае для наблюдения эффекта можно было бы использовать другой тип аппарата. Два луча света могут посылаться вокруг вертикально установленного прямоугольника (рис. 13.22). Можно ожидать сдвига в несколько сотен полос. Однако в экспериментах, выполненных в лаборатории Райерсон такого сдвига не обнаружено.

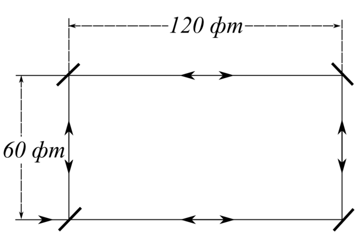


Рис. 13.22. Схема аппарата с расположением лучей в вертикальной плоскости.

Завершая, я должен упомянуть о некоторых достоинствах нового аппарата: (1) полосы исключительно черны; (2) рама будет выполнена из инвара, что сделает ее крайне нечувствительной к изменениям температуры; (3) будет использоваться фоторегистрация для того, чтобы обеспечить непрерывность отсчетов. Записанные результаты будут сохраняться и могут быть рассмотрены позже независимо от наблюдателя. Таковы три момента, представляющие собой значительные усовершенствования более ранних аппаратов.

Было бы интересно заметить, что вначале планировался другой аппарат, но он был отклонен, а принят данный интерферометр. Плечи предполагались длиной 100 м, аппарат не мог поворачиваться, но движущаяся Земля должна была поворачивать его в различные положения относительно эфира. Мы намереваемся испытать его, эксперимент готовится в Чикаго.

Лоренц: Относительно деталей теории, затронутых д-ром Майкельсоном, я предлагаю следующие замечания. Если эфир движется свободно через вещество, таких трудностей, связанных с увле-

чением эфира веществом, не возникает. Если, с другой стороны, факты обязывают нас вновь ввести материальный эфир, было бы очень трудно сказать, каковы его свойства. Что случится, например, если вещество окажется только частично проницаемым для эфира, никто не может сказать. С этой точки зрения вопрос о коэффициенте 19/20 не может подниматься до тех пор, пока не будут лучше исследованы его свойства. Мы можем даже оставить возможность того, что движение эфира может быть безвихревым. В этом случае эфирный ветер будет, конечно, иметь компонент, перпендикулярный к поверхности Земли, и он будет довольно большим. Этот случай вполне может быть, и эффект, упомянутый Майкельсоном, должен быть нулевым. Относительная скорость эфирного ветра может возрастать с увеличением расстояния от поверхности Земли и, кроме того, не иметь вращения. Это, например, случай модификации Планком теории Стокса. Еще одной возможностью был бы сжимающийся эфир. Это исключило бы даже необходимость безвихревого движения эфира. Но в данный момент достаточно указать, что движение эфира с $\mathrm{rot}\, w = 0$ было бы достаточным для получения количественного объяснения явления аберрации и результата Майкельсона. Я говорю это только для того, чтобы показать огромное множество существующих возможностей для теории, если мы будем вынуждены новыми экспериментами вернуться назад к представлениям о материальном эфире.

Вопрос к д-ру Кеннеди; Ваш аппарат обладает такой чувствительностью, что способен определить изменения оптического пути $\delta l = 2\cdot 10^{-3}\lambda$. Теперь это не та чувствительность, которую вы вычислили теоретически. Я бы хотел спросить, как вы определили эту чувствительность. Я спрашиваю это не для себя, так как знаю, каким образом Вы это сделали. Я спрашиваю ради аудитории, так как я думаю, что метод, использованный Вами, исключительно хорош. Я предлагаю также рассказать о том, смогли ли Вы определить орбитальный эффект на основе предположения захвата эфира в соотношении 19/20?

Д-р Кеннеди: Отвечаю сначала на второй вопрос. Я думаю, что эффект, связанный с орбитальным движением Земли, должен наблюдаться с помощью моего аппарата.

Что касается первого вопроса, то я думал, что метод определения δl был достаточно грубым. Масса 5–6 кг на плите, на которой

был смонтирован аппарат, давала сдвиг в одну полосу. Я определил минимальную массу (около 10 г), которая давала вполне наблюдаемый эффект. Отношение двух масс и дает затем $\delta l/\lambda$.

Я мог бы также объяснить, что я избавился от излишнего рассеянного света, используя метод, отличающийся от предложенного Майкельсоном для его нового устройства. Я использовал поляризованный свет, падающий под нужным углом на стеклянную пластину (угол Брюстера), так что не отражалось никакого света вообще [см. доклад Кеннеди. Майкельсон воскликнул: «Поистине великолепно!»] Этот метод не является моим собственным изобретением. Он был предложен в 1911 г. в «*Comptes Rendus*», если я правильно запомнил.

Сдвиг азимута (50° к западу) в эксперименте Миллера кажется, показывает, что присутствует некоторый ложный эффект, зависимый только от положения прибора относительно меридиана, который сдвигает азимут всего эффекта к западу. Результат должен быть воспринят как суперпозиция кажущегося эффекта и эфирного ветра. Это объяснение, вероятно, потребовало бы, чтобы величина эффекта, связанная с эфирным ветром, меньше, чем что-либо, что можно наблюдать использованными устройствами. Это также объясняет различие в результатах, полученных мной и Миллером.

Эксперимент Пиккара не выглядит имеющим большое значение. Насколько я понимаю, он работал как раз в такое время суток, когда едва ли можно было ожидать эффекта.

Лоренц: Я не считаю, что последнее замечание Кеннеди справедливо, Пикккар поднимался как раз в то время суток, когда над горизонтом вставало созвездие Геркулеса.

Кеннеди: Пиккар поднимался дважды. Один раз, когда звездное время было правильным, но его наблюдения были испорчены влиянием температуры. Его ошибки в 30 раз превышали искомый эффект. Во второй раз он избавился от ошибок, но эффекта нельзя было ожидать в звездное время, выбранное им для наблюдений.

Миллер: Я согласен с Хедриком, что теория аппарата, используемого для эксперимента, должна быть тщательно разработана. Теория Лоренца точна, но она является обобщением и не принимает во внимание особенностей использованных аппаратов. Что в действительности происходит с полосами, зависит от регулировки зеркал. Когда я заинтересовался экспериментом в 1900 г., адекват-

ной теории инструмента не существовало, Теоретическое исследование аппарата было предпринято В.М.Хиксом, опубликовавшим его в «*Philosophical Magazine*» в январе 1902 г. Мы [Миллер и Морли] считали необходимым вновь вернуться к вопросу, так как Хикс предположил, что существует дополнительный член в выражении для исследуемого явления, который не был ранее принят во внимание. Этот член представляет собой заметную величину, периодическую для каждого полного оборота интерферометра, в то время как влияние эфирного ветра периодично в каждом полуобороте. В «*Philosophical Magazine*» в мае 1905 г. мы дали обзор теории, показывающий, что вычисления Хикса не оказывают влияния на сделанные ранее выводы. Явление полнопериодического смещения полос фактически присутствует в экспериментах 1887 г., а также во всех последующих. В «*Comptes Rendus*», 1919. Т. 168, с. 837 Риги начал серию статей, разрабатывая теорию в деталях. Он считал, что наши выводы не подкреплены теорией. Мне кажется, что теория Риги правильна абстрактно, но она не имеет дела с реальными явлениями, возникающими в интерферометре, как это делает теория Хикса. Вопрос требует дальнейшего исследования, как предложено проф. Хедриком. Теория Хикса принимает во внимание тот факт, что на практике изображение *c* (рис. 13.23) зеркала *a* учитывает то, что *a* слегка наклонено к *b*. Это совершенно необходимо для получения прямых лучей полос конечной ширины. Вычисления Риги основаны на предположении, что *b* и *c* в точности параллельны, что могло бы произвести полосы бесконечной ширины; таким образом, его критика не применима к реальному случаю. Когда *b* и *c* наклонены друг к другу, истинный эфирный ветер даст дополнительный эффект, предсказанный Хиксом, являющийся периодическим в полном обороте аппарата. Хикс вычислил его величину, показав, что он зависит от угла между *b* и *c*. Эффект возрастает с возрастанием угла и уменьшением ширины полос. Поскольку искомое нами смещение за счет эфирного ветра должно быть периодическим в каждом полуобороте, то мы вправе исключить полнопериодиче-

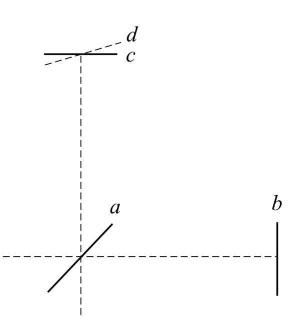


Рис. 13.23. Схема интерферометра со слегка наклоненным зеркалом

ский эффект. Это выполнено графическим представлением одиночных наблюдений, оборот за оборотом интерферометра; эти кривые проанализированы механическим гармоническим анализатором и вторая гармоника (эффект полуоборота) представлена как отражающая собой эфирный ветер. При наличии влияния эфирного ветра необходимо присутствует эффект полного оборота по Хиксу, и его присутствие может считаться еще одним свидетельством наличия эфирного ветра. Величина и фаза эффекта полнопериодических смещений изменяются, так как зависят от регулировки зеркал так же, как и от эфирного ветра. [Были показаны слайды, представляющие эффект полного периода]. Очевидно, что величина эффекта различна для разных серий наблюдений. Эффект полупериода, с другой стороны, характеризуется постоянной величиной. Полнопериодическое смещение невелико, когда ширина полос такова, что пять из них покрывают зеркало, имеющее диаметр 10 см. При других условиях, однако, смещение может быть очень большим. Эффект полного периода не нов, он всегда присутствовал во всех экспериментах. Он присутствует и в первичных наблюдениях Майкельсона.

Кеннеди: Одинаков ли эффект при использовании металлической и бетонной рам?

Миллер: Да, он существенно одинаков. Бетонный прибор показал меньшие температурные эффекты, чем прибор со стальной рамой, но его механическая прочность также была меньше. Я всегда использовал, как и Кеннеди, метод сдвига полос помещением грузов на конец рамы. Для получения сдвига в одну полосу требовалось приблизительно 325 г. Это меньше, чем соответствующий груз в приборе Кеннеди, так как плечи рамы в моем аппарате длиннее, чем в его. Я хотел бы снова заметить, что мой эксперимент проводился при значительном варьировании условий. Мой ассистент перемещался вокруг прибора для того, чтобы посмотреть, влияет ли его позиция на распределение температуры или стабильность или уровень прибора. Свет помещался в различные положения внутри и вне помещения. На Маунт Вилсон аппарат устанавливался в зданиях с различной ориентацией. Эффект везде наблюдался. После учета всех возможных источников погрешности всегда оставался положительный эффект.

Проф. Е. Р. Хедрик: С точки зрения математики не может быть вопросов относительно правильности вычислений, представленных

проф. Лоренцем. Результат для членов второго порядка вопросов не вызывает. Возможно, однако, появление погрешности из-за изменения пути луча света из-за движения аппарата. Инструмент не мог быть всегда в идеальном положении, принятом для вычислений.

Я хотел бы привлечь ваше внимание ко второму пункту. Мы начали с определенного количества допущений. Сейчас наша цель в области математики – уменьшить необходимое количество допущений до минимума. Мы используем в данном специальном случае два принципа Гюйгенса и Ферма. Можем ли мы доверять им там, где дело касается членов третьего порядка, мы не знаем. Не может ли комбинация эффектов третьего порядка оказывать влияние на величину эффекта второго порядка? Если мы могли бы уменьшить количество физических принципов, используемых в наших вычислениях, до одного, это было бы очень желательно. Это то, что мы пытались сделать с Риги.[50]

Лоренц: Я хотел бы защитить свою теорию. Хедрик говорит, что необходимо пытаться сократить число допущений. Два принципа Гюйгенса и Ферма не являются независимыми. Второй может быть выведен из первого. Легко доказать, что это так. Таким образом, вопроса о наличии двух допущений нет.

Хедрик: Действительно ли это так?

Лоренц: Да, отношения между принципом Гюйгенса и принципом Ферма абсолютно общие. Я мог бы более точно привести некоторые доводы, изложенные мной вчера.

---

[50] Необходимо четко указать, что операциям дифференцирования и интегрирования, свободно использованным в этих обсуждениях, нельзя доверять в той мере, как это часто предполагается. Производная приближения к истинной формуле – не обязательно приближение к производной истинной формулы. Правда, также, что интегралы в последовательных приближениях к истинной формуле не обязательно последовательные приближения к интегралу от истинной формулы, если последовательные приближения не *единообразны*. Нельзя сказать, что эти условия остаются для таких прекрасных приближений как в опыте Майкельсона. Поэтому нам казалось, и до сих пор нам кажется, что будет необходимо перейти на прямые расчеты для определенно выраженных предположений, а не использовать промежуточные доказательства (например, принцип Ферма), что, таким образом, сомнительно.

Предположим, P (см. рис. 13.5) есть световая точка (здесь должны начаться трудности, если мы должны точно пояснить, что мы имеем в виду). Предположим далее, что $\operatorname{rot} w = 0$, что отражает идею Френеля. Используя френелевские коэффициент и увлечение, находим влияние движения аппарата на эффекты первого порядка, одинаковые для каждого пути l_1 и l_2.

Существует еще один пункт, о котором необходимо упомянуть. Если мы примем во внимание эффекты второго порядка, путь лучей будет изменяться вследствие движения аппарата, так что необходимо будет использовать в один момент l, а в следующий l'. Я все же думаю, что для рассматриваемых эффектов не имеет значения, что именно мы возьмем. [Хедрик замечает: «Да, верно».] Понятно, что разность между l и l' дает только эффект четвертого порядка. Таким образом, оправдано использование пути, существующего без движения эфира.

Конечно, значение светового пути l должно быть точным до второго порядка. В тех случаях, где мы связаны только с распространением в эфире, эта величина вытекает из выражения для v (скорости света в движущейся системе):

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{c}\left[1 - \frac{w}{c}\cos\vartheta + \frac{w^2}{c^2}(\cos^2\vartheta + \frac{1}{2}\sin^2\vartheta)\right].$$

[см. выражение (3) в Докладе II]. Но возникает вопрос, и это то что я хотел добавить, какова будет форма уравнения, когда мы имеем дело со светом, проходящим через подвижные стеклянные пластины? В этом случае, w^2/c^2 будет заменено на k^2w^2/c^2, где $1-k=(n^2-1)/n^2$ — коэффициент Френеля. Теперь эта величина для k не является столь строгой в данной связи. Это выражение $wkdt$ вследствие увлечения материей может быть подвергнуто сомнению, если необходимо учесть члены второго порядка. Это могло бы сделать необходимым изменение величины этих эффектов второго порядка. Нужно отметить, однако, что расстояния, через которые свет проходит в стекле в эксперименте Майкельсона, сравнительно столь малы, что практически не могут вызвать каких-либо затруднений. Исходя из этого я думаю, что теория, представляемая мной, есть общая, но в то же время точно приме-

нимая к реальному прибору. Во всяком случае, я намереваюсь изучить все недавние работы, такие, как работа Хедрика.

Д-р Г.Штромберг: Часто говорят, что Солнце движется «в пространстве» со скоростью 20 км/с к точке α = 270°, δ = +30°. Это выражение абсолютно неадекватно и означает лишь движение Солнца относительно ярких звезд с такой скоростью и направлением. Относительно удаленных объектов эта скорость значительно больше. Скорость Солнца относительно шаровидных звездных скоплений приблизительно равна 300 км/с в направлении α = 320° и β = +65°, а относительно спиральной туманности она может быть даже больше, хотя и примерно в том же направлении.

Поскольку система отсчета большей величины, по-видимому, более фундаментальна, более высокая скорость может также иметь более фундаментальную природу.

Это как раз и происходит в данном случае. Движение Солнца относительно объектов разных классов в соседстве с нами совершенно различно, и было установлено общее правило: чем выше внутренняя дисперсия скорости в группе, тем больше скорость движения Солнца относительно этой группы. Практически все звездные объекты могут быть представлены в виде ряда с возрастающей дисперсией скорости и движением с различной скоростью вдоль определенной оси. Эта последовательность заканчивается шаровидными звездными скоплениями, и существует квадратичное отношение между движением группы вдоль определенной оси и дисперсией скорости по этой же оси. Это явление может, как минимум формально, быть объяснено как эффект ограничения скорости в фундаментальной системе отсчета, в которой шаровидные скопления находятся в статическом покое.

Недавние исследования гигантских М–звезд полностью оправдали эту гипотезу. Фактически было признано возможным представить распределение скорости вдоль этой фундаментальной оси гораздо более удовлетворительным способом одной имеющейся в распоряжении постоянной в добавление к этому фундаментальному вектору скорости, чем четырьмя произвольными постоянными, как в распространенных методах.

В звездном движении нам необходимо ввести вектор фундаментальной скорости 300 км/с в упомянутом направлении для того, чтобы обеспечить порядок и регулярность. Это предполагает суще-

ствование «фундаментальной системы отсчета» или «среды» или «эфира», как бы мы ни предпочли назвать ее. Введение такой концепции имеет большое значение для исследования звездного движения.

Проф. Х.Бейтман: Эксперимент Майкельсона–Морли можно рассматривать как проверку законов отражения подвижного зеркала. Для общего случая, когда источник света движется относительно Земли, вопрос распадается на два:

1. Является ли изображение подвижного точечного источника света единственным подвижным точечным источником света, как в классической электромагнитной теории?

2. Являются ли пространственно–временные координаты точечного источника и его изображения связанными соотношениями

$$x' = x - \frac{2c^2}{c^2 - u^2}(x - ut) \qquad t' = t - \frac{2u}{c^2 - u^2}(x - ut),$$

$y' = y$; $z' = z$, где u — скорость зеркала, классической электромагнитной теории и теории относительности?

Допуская, что на первый вопрос ответ будет утвердительным, необходимо исследовать различные модификации уравнений, связывающих пространственно–временные координаты точечного источника и его изображения в приборах с зеркалами в опыте Майкельсона–Морли. Интерференционные полосы могут в каждом случае рассматриваться как полосы, образуемые светом, исходящим непосредственно от определенных источников изображения и проходящих в соответствии с определенными законами распространения, которые также исследуются. Проблема усложняется сокращением размеров аппарата. Первый вопрос относительно четкости изображения точечного источника света, движущегося относительно зеркала, трудно решить экспериментально в связи с отсутствием источников света, движущихся с большой скоростью и на некотором удалении от Земли. Скорость падающей звезды может составлять 45 миль/с (82 км/с), но этого, вероятно, мало для восполнения отсутствия четкости в изображении.

Директор Адамс закрыл конференцию, поблагодарив участников за их вклад.

Институт Карнеги, Вашингтон;
Обсерватория Маунт Вилсон, апрель 1928 г.

14. Е.Стаэль. Эксперимент Майкельсона, выполненный на свободном аэростате (1926)

Das Michelson–Experiment, ausgefurt im Freiballon. E.Stahel

На основании теории относительности Эйнштейна становится очевидным результат так называемого эксперимента Майкельсона, который утверждает, что скорость света, измеренная на Земле, не зависит от движения в космическом пространстве. Однако в 1924 г. Миллер установил, что эффект, полученный на горе Маунт Вилсон, состоит в том, что в определенных направлениях скорость света изменяется на 10 км/с, другими словами, что существует «эфирный ветер» такой скорости. Из его первых публикаций выясняется, что этот эффект увеличивается с высотой. Можно полагать, что если такой эффект существует и что он увеличивается с высотой, то он должен особенно сильно проявиться в свободной атмосфере, поэтому эксперимент, проведенный на аэростате, должен иметь хороший результат.

Проф. Пиккар развил эту идею и в сотрудничестве с автором этих строк предпринял 20 июня 1926 г. подъем аэростата, о чем ниже будет вкратце рассказано.

Мы использовали интерферометр Майкельсона с многократным отражением на девяти зеркалах и оптическим путем около 280 см.

Источником света служила ртутная дуговая лампа с линией 4358Å. Вращение аппарата осуществлялось с помощью двух размещенных по экватору шара электромоторов с небольшими самолетными пропеллерами, которые приводили во вращательное движение весь шар — 2–3 оборота в минуту. Этим достигалась полная симметрия. Интерференционные полосы непосредственно не наблюдались, а фотографировались на кинопленку. По этой кинопленке впоследствии в лаборатории проводились измерения, что значительно повысило точность измерений, позволило увеличить скорость вращения шара и исключить субъективные ошибки.

Подъем состоялся в 10 часов вечера 20 июня 1926 г. на аэростате Гельвеция (2200 $м^3$ водорода), который нам предоставил швейцарский аэроклуб. Основные замеры были проведены между 0 и 4 часами ночи на высоте 2500 м, 50°45' сев. широты 5°20' вост. долготы. К сожалению, в этот день была необычайно высокая температура, и вместо ожидаемой температуры ниже 0°, для которой и был изготовлен термостат, заключающий в себя интерферометр, температура снизилась до +7°. Обусловленные слабым воздушным потоком внутри аппарата смещения интерференционных полос уменьшали точность измерений. В то же время механическая стабилизация была достигнута полностью, например, сброс балласта не вызывал заметного смещения интерференционных полос, и, наоборот, оно было минимум в 100 раз больше при раскачивании шара по сравнению с тем, когда в корзине вели себя спокойно. Благодаря этому точно установлено, что измерения интерферометром в воздушном шаре возможны.

В целом было зарегистрировано 96 пригодных оборотов аэростата, которые были разделены на девять групп. Каждый интервал, соответствующий одному обороту аэростата, был разделен на 20 равных частей, в которых посредством делительного устройства и микроскопа определялись расстояния от фиксированной точки двух самых резких интерференционных полос. Способом наименьших квадратов для каждой группы была рассчитана та синусная кривая с ранее описанным периодом, которая наилучшим образом соответствовала наблюдаемой.

Их амплитуды пропорциональны квадрату скорости «эфирного ветра», их фазы соответствуют определенному направлению. Векторная составляющая среднего значения для различных групп дала вероятное смещение полос в 0,0034 единицы — расстояния между двумя следующими друг за другом интерференционными полосами, с вероятной погрешностью такого же порядка величины, соответствующей скорости эфирного ветра в 7 км/с.

Отсюда мы заключаем, что в пределах границ погрешности не может быть получен результат и что случайное смещение полос от места и времени наблюдения наверняка меньше, чем 0,006 единиц, соответствующих эфирному ветру в 9 км/с. Мы не можем на основании этой опытной серии обсуждать результат Миллера, поскольку наша точность измерений лежит как раз на границе наблюдений

Миллера. Однако мы наверняка можем исключить эффект Миллера, увеличивающийся с увеличением высоты.

Недостаточная точность измерений, как уже было сказано, явилась следствием ненормально высокой температуры в день полета аэростата. Мы намерены, если позволят технические возможности, предпринять новый эксперимент, в котором интерферометр будет находиться в вакууме и будет менее чувствителен к температуре.

Брюссель, 20 августа 1926 г.

Die Naturwissenschaften, Heft 41. 1926. B.8, № 10. S. 935–936.

15. А.Пиккар, Е.Стаэль. Эксперимент Майкельсона, проведенный на горе Риги на высоте 1800 м над уровнем моря (1927).

Das Michelson–Experiment, ausgefühlt auf dem Rigi, 1800 m ü. M. A.Piccard, E.Stahel

Продолжая наш опыт с «эфирным ветром», мы в заключение провели эксперимент Майкельсона на вершине горы. Было использовано описанное ранее переносное оборудование с фоторегистрацией. [51]

Эксперимент проводился на вершине горы Риги (1800 м над уровнем поря, 80°30' вост. долг., 47°00' сев. широты). Мы выбрали это место, исходя из следующего: Риги — это сравнительно изолированно стоящая гора (в районе 20 км нет ни одной высокой вершины), кроме того, к северу она совершенно свободна. Комнатка на крыше высоко стоящего отеля, где мы могли провести свой эксперимент, находилась на несколько метров выше вершины горы и полностью без помех подвергалась идущему с севера эфирному ветру. Дороги на горе позволили доставить легким транспортом весящую 550 кг аппаратуру и комплект аккумуляторов.

Измерения проводились 16 и 17 сентября 1927 г., а именно, основные серии, о которых сообщается ниже, проводились утром между 6 часами и 6 часами 30 минутами по среднеевропейскому времени. В это время гипотетический миллеровский эфирный ветер на Риги имел максимальную горизонтальную составляющую около 9,5 км/с, что должно было давать для нашего интерферометра смещение полос около 6,4/1000 их шага.

[51] Naturwissenschaften. 1926. B. 14. S. 935; 1927. B. 15. S. 140.

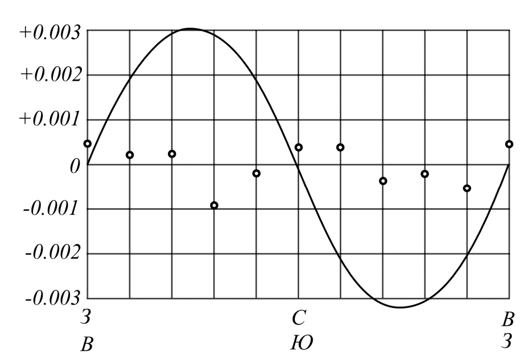


Рис. 15.1. Сравнение наблюдавшегося смещения интерференционных полос на горе Риги (точки) с миллеровским эффектом эфирного ветра (кривая). По оси ординат — смещение полос в долях шага полос

Мы проанализировали зарегистрированные на пленке около 12 групп, в каждой по 10 оборотов интерферометра; каждая из них показала эфирный ветер, который был значительно меньше, чем тот, что был у Миллера; кроме того, их фазы произвольно располагались по розе ветров. Векторным способом мы нашли смещение полос, которое составляло только 1/40 часть указанного выше значения, то есть 0,16/1000, соответствующей эфирному ветру около 1,5 км/с. Этот эффект находится в пределах вероятной погрешности наших измерений, которая у нас могла составлять 2,5 км/с. На рис. 15.1 мы показали точки наблюдения и сравниваем их с миллеровским эфирным ветром на Маунт Вилсон.

Из этого рисунка видно, что на Риги, на той же высоте 1800 м (Маунт Вилсон расположена на высоте 1750 м), нет и следа от эфирного ветра.

Более подробное описание этого и ранее проведенного эксперимента, измерительной техники и результатов появятся в одном из ближайших номеров.

Брюссель, 20 ноября 1927 г.

Naturwissenschaften. 1926. B. 14. S. 935; 1927. B. 15. S. 140; 1928. B. 13. No 1. S. 25

16. А. А. Майкельсон, Ф. Г. Пис и Ф.Пирсон. Повторение эксперимента Майкельсона–Морли, 1929.

Repetition of the Michelson–Morley experiment. A.A.Michelson, F.G.Pease and F.Pearson)

Настоящее исследование было предпринято в целях проведения более точных испытаний, чем те, которые были проведены до настоящего времени; это исследование можно разделить на следующие три части.

Первые предварительные наблюдения были начаты в июне 1926 г. Использованный в них принцип не отличался существенно от того, который был применен в оригинальном эксперименте Майкельсона–Морли, за исключением того, что в этих исследованиях наблюдатель размещался на аппарате, перемещаясь вместе с ним во время выполнения наблюдений.

Было сделано несколько сот отсчетов, давших все тот же отрицательный результат, который был получен в первоначальных исследованиях. Из вычислений, подготовленных д-ром Штромбергом, следовало, что должно наблюдаться смещение интерференционных полос на 0,017 расстояния между ними в надлежащее звездное время. Смещения такого порядка получено не было.

Вторые предварительные исследования были начаты осенью 1927 г. Оптические пути в этот раз были размещены на тяжелом чугунном диске, плавающем в круглом желобе, заполненном ртутью, подобно тому, как это было в первоначальных экспериментах. Главное отличие, однако, состояло в том, что источник света был размещен вертикально над центром вращающего диска и вращался вместе с ним. С помощью простых систем отражения результирующее изображение (интерференционной картины — В. А.) представлялось неподвижным, что исключало необходимость размещения наблюдателя на самом аппарате. Поэтому неподвижные полосы интерференционной картины могли быть измерены обычным путем с помощью микрометрического окуляра; при этом наблюда-

тель находился в покое и выше центра вращающегося диска. Длина оптического пути в этом эксперименте составляла 53 фута (16 м).

Вследствие неточного температурного контроля (и возможной несимметричности механических напряжений в аппаратуре) полученные результаты пока не столь устойчивые, как бы хотелось, однако они показывали ясно, что смещений порядка ожидаемых не было получено.

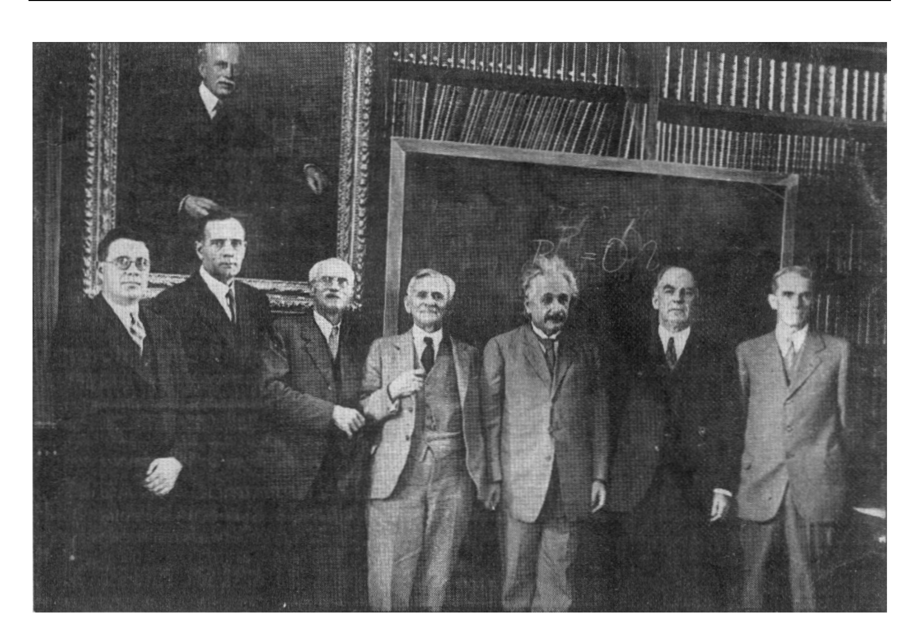
В последней серии экспериментов аппаратура была перенесена в хорошо защищенную фундаментальную комнату лаборатории Маунт Вилсон. Длина оптического пути была увеличена до 85 футов (26 м); результаты показали, что меры предосторожности, принятые для исключения влияния температуры и давления, были эффективными.

Результаты не дали смещения, большего, чем на 1/50 предположительно ожидавшегося эффекта, связанного с движением Солнечной системы со скоростью 300 км/с (то есть 6 км/с — В. А.).

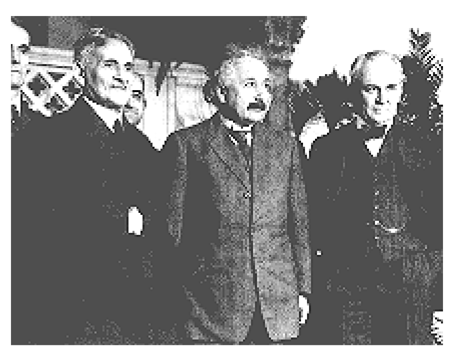
Эти результаты определялись как разности между максимумом и минимумом в сидерические (звездные) периоды времени. Направления соответствуют вычислениям д-ра Штромберга о предположительной скорости Солнечной системы.

Чикагский университет и обсерватория Маунт Вилсон

Optical Society of America. Journal of the Optical Society of America and Review of Scientific Instumcnts. March 1929. Vol 18, No 3. P. 181—182. Также опубликовано в Nature, 123:88, 19 Jan. 1929;



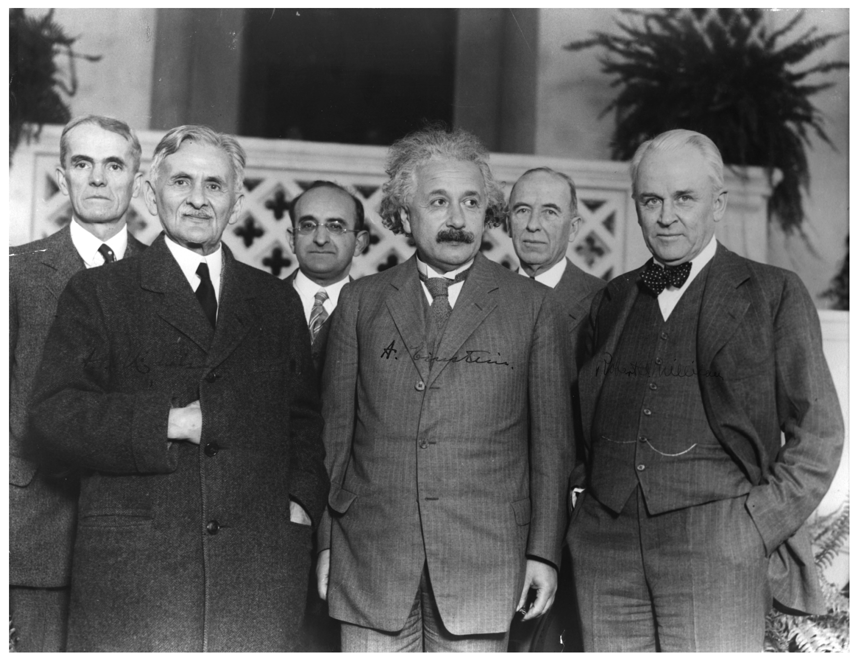
А.Эйнштейн и А.Майкельсон в Маунт Вилсон, 1931 г., незадолго до смерти Майкельсона. Слева направо Милтон Хьюмасон, Эдвин Хаббл, Чарльз Сент-Джон, Майкельсон, Эйнштейн, В.В.Кемпбел и Вальтер С.Адамс. http://oisc.net/Speed_of_Light.htm



Альберт Майкельсон, Альберт Эйнштейн и Роберт Милликен в Калифорнийском технологическом институте в 1931 г. http://bit.ly/h2L7l9



Густав Штромберг (Gustaf Strömberg) (1882–1962) – астроном обсерватории Маунт Вилсон, подтвердивший вычисления для направления и скорости эфирного ветра. http://bit.ly/hlgamF



В.С.Адамс, А.А.Майкельсон, В.Мейер, А.Эйнштейн, М.Фарранд, Р.А.Милликен, 1931 г. http://bit.ly/hRvrqj

17. Ф.Г.Пис. Данные о движении эфира. 1930 г.

Ether drift data By F.G.Pease

Первоначальный эксперимент Майкельсона–Морли был проведен для выявления возможного движения относительно классического эфира. Результаты показали, что эфир переносится вместе с аппаратом.

Повторения этого эксперимента профессором Д. К. Миллером как будто продемонстрировали наличие относительного движения со скоростью от 5 до 10 км/с, изменяющегося со звездным временем.

Предметом экспериментов Майкельсона, Писа и Пирсона являлась проверка результатов Миллера чисто дифференциальным методом. Наблюдения были проведены в большой шлифовальной комнате оптической мастерской в обсерватории Маунт Вилсон в Пасадене в периоды, соответствующие максимальному и минимальному эффектам Миллера, а также, для контроля, в периоды между максимумом и минимумом.

Первый интерферометр 1926—1927 гг. был выполнен из обычной конструкционной стали в форме креста, каждое плечо которого представляло собой прямоугольную коробчатую секцию, сквозь которую проходили лучи света. Рама была смонтирована горизонтально сначала на шарикоподшипниковом основании, а затем на деревянном плоту, помещенном в баке со ртутью. Наблюдатель, находящийся над аппаратом, делал отсчеты десятых долей интерференционных линий. Были обнаружены большие температурные перепады, а кроме того, периодические погрешности, связанные с осью вращения.

Затем была создана подобная конструкция из стали с низким коэффициентом расширения, но из-за малого сечения металла не была достигнута необходимая жесткость. Для демпфирования вибраций от примыкающей к обсерватории мастерской были предприняты попытки разместить аппаратуру на пневматических подушках, на шарикоподшипниках, но эти попытки закончились неуда-

чей. Длина оптического пути в этих приборах составляла 55 футов (16 м). Они не дали доказательства существования эфирного ветра.

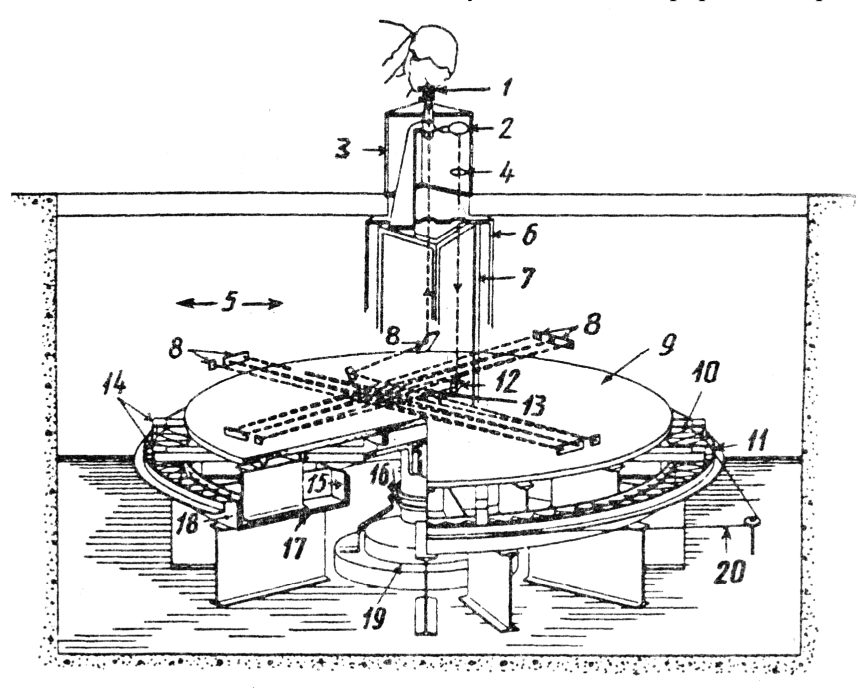


Рис. 17.1. Смонтированный интерферометр: 1 — микрометрический окуляр: 2 — источник света; 3 — деревянные предохранители, установленные на полу; 4 — линза; 5 — камера с постоянной температурой; 6 — деревянное предохранительное кольцо, установленное на вращающемся столе; 7 — стальная конструкция, установленная на опорах вращающегося стола, окуляр и источник света; 8 — зеркала; 9 — основание; 10 — обшивка, центрирующая и защищающая плот; 11 — защитное кольцо; 12 — призма; 13 — плоскопараллельные стекла; 14 — угольники, установленные на опоре центрального пьедестала, поддерживающие внешнее защитное кольцо; 15 — плот; 16 — статор; 17 — ртуть; 18 — бак; 19 — пьедестал; 20 — ремень привода

В 1927–1928 гг. оптические части были смонтированы на чугунном основании шлифовальной машины весом 7000 фунтов (3175 кг), используемой для 100-дюймового зеркала (рис. 17.1). Основание покоилось на кольцеобразном металлическом плоту, помещенном в бак со ртутью. Кольцо из уголкового железа диаметром 10 футов (3 м) было установлено на перекладинах, выступающих за обойму шарикоподшипника, которая располагалось в

центре под основанием, но нигде его не касалась. Затем кольцо и основание были соединены, образовав решетку, после того, как были тщательно отцентрированы. Небольшого дешевого двигателя было достаточно для приведения интерферометра в движение. Длина оптического пути опять составляла 55 футов. В центре широкого основания была размещена решетчатая стальная рама и на верхнем ее конце был помещен источник света — обычная лампа накаливания — и наблюдательный телескоп. Зеркало в его основании отражало свет в интерферометрическую систему. Оптический путь от воздушных потоков закрывали деревянные коробки. Интерферометр был помещен в деревянную камеру в шлифовальной комнате оптической мастерской. Наблюдатель, сидя в удобном кресле с подставками для удержания рук на раме вокруг вращающейся башни, устанавливал микрометр на интерференционных линиях. Использовались как светлые, так и темные полосы, а положение наблюдателя менялось для исключения влияния наклонов при проведении отсчетов. Отсчеты выполнялись для положений С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, 3 и СЗ: прибор совершал один оборот в минуту.

Вначале интерферометр вращался в одном направлении и показывал синусоидальную кривую большой амплитуды (рис. 17.2). Изменив направление движения на противоположное, получили подобную кривую, примерно той же амплитуды, но с обратными знаками. Помещая лампу на различных расстояниях от прибора и на различных азимутах, было установлено, что амплитуда легко могла быть увеличена и что форма синусоиды искажалась, но амплитуда не могла быть сокращена ни в малейшей степени. Было замечено, что очень гладкие кривые со стабильным сдвигом были получены в тихие туманные дни, а в дни, когда облака проходили мимо Солнца, отмечались переменный подъем и падение температурного дрейфа. Из этих экспериментов было сделано заключение о том, что одни лишь температурные эффекты не были причиной синусоидальности кривой отсчетов.

Плот в ртути и резервуар были сделаны из стальных сварных листов и имели лишь приблизительно круглую форму; при вращении толщина ртути изменялась. Можно полагать, что основание прибора находится в более или менее сжатом состоянии, но если бы было больше времени для растекания ртути, то это сжатие было бы меньшим. Уменьшив частоту вращения в 6 раз до 1 об. за 6 мин,

немедленно уменьшили амплитуду, что дало практически одинаковую кривую для обратного хода. В таблицах, приведенных ниже, сделанные при таких данных отсчеты обозначены как серия 1.

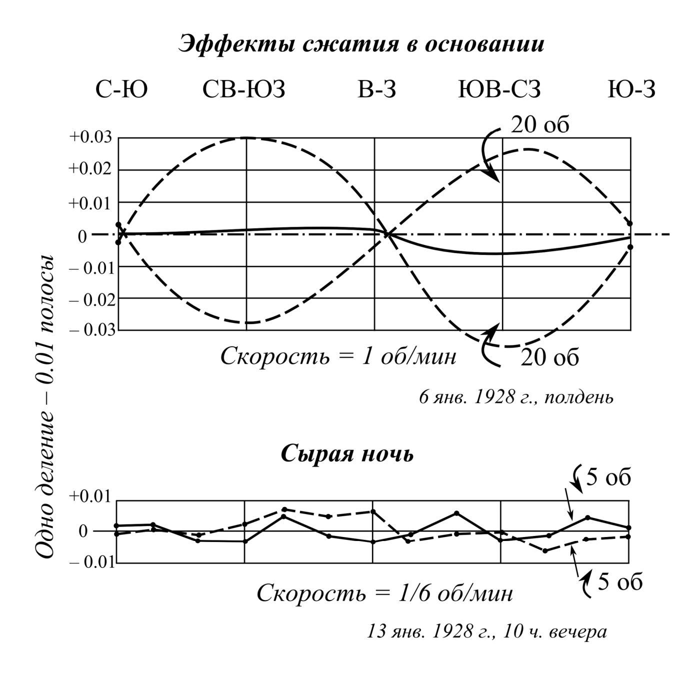


Рис. 17.2. Результаты испытаний интерферометра

Чугунный резервуар и желоб, обработанные с точностью до 1/1000 дюйма, заменили старые, более грубые установки, интерферометр был размещен в камере ниже пола оптической мастерской. Оптическая система осталась прежней, за исключением длины оптического пути, которая была увеличена до 85 футов (26 м). Эти окончательные изменения снизили амплитуду вариаций наполовину и возможную погрешность серий с 0,0024 до 0,0014 полосы. Интерферометр постоянно вращался, и источник света был включен все время. Интерференционная картинка смещалась при повороте микрометрического винта на величину от 1/2 до 1 оборота на полосу, в среднем на 8/10. Полосы постоянно оставались в поле зрения в течение многих дней, и время от времени они выверялись при помощи перемещения одного из зеркал. Отсчеты делались во время

5 оборотов прибора по часовой стрелке и 5 оборотов против часовой стрелки. Наблюдатели меняли свое положение таким образом, чтобы полностью переместиться вокруг телескопа. Эксперименты показали, что применение обращающей призмы для удержания полос в фиксированном положении преимуществ не создает.

Для удобства данные были сгруппированы в четыре серии наблюдений. Серия 1 была выполнена одним Писом с прибором, расположенным над землей; серии II, III, IV были выполнены Писом и Пирсоном с помощью прибора, расположенного ниже уровня земли. Серии I, II и III проводились при времени, соответствующем максимуму и минимуму миллеровского эффекта, соответственно в 5 ч. 30 мин. и 17 ч. 30 мин. звездного времени. Серия IV — в 11 ч. 30 мин. и в 23 ч. 30 мин. звездного времени — между максимумом и минимумом. Для серии I разность в амплитудах при допущении, что относительная скорость составляет 10 км/с согласно Миллеру, должна составить 0,021 полосы, для серий II и III эта разность составит 0,035 полосы. Для серии IV разность составит 0. В табл. 1 приведены данные наблюдений и вероятные значения погрешностей для серий

Группа отсчетов состоит из 10 оборотов аппарата, 5 по часовой стрелке, 5 — против часовой стрелки, средние значения для группы берутся в качестве наблюденного значения. В табл. 2 представлены действительные разности для соседних серий наблюдений.

***Таблица 1.* Перечень наблюдений и вероятных погрешностей**
Единица = 0,001 полосы.

Серия	Период проведения наблюдений (эпоха)	Звездное время, ч. мин.	Группа отсчетов	Общее число оборотов	Вероятная погрешность серий
Макс. I	Окт. 1927 — февр. 1928	05:30	7	70	1,8
Мин. I	Окт. 1927 — февр. 1928	17:30	7	70	1,6
Макс. II	23 июля — 4 авг.1928	05:30	32	320	0,6
Мин. II	24 июля — 4 авг. 1928	17:30	27	270	0,9
Макс. III	9 авг. — 28 авг. 1928	05:30	37	370	0,8
Мин. III	9 авг. — 30 авг. 1928	17:30	34	340	1,2
Нейт. IV—I	9 авг. — 29 авг. 1928	11:30	34	340	0,9
Нейт. IV—II	10 авг. — 29 авг. 1928	23:30	33	330	1

Таблица 2. **Разности в сериях.**

Единица = 0,001 полосы.

Комбинация	Азимут				Вероятная погрешность в разности	Длина оптического пути, фт	Амплитуда по Миллеру
	С–Ю	СВ–ЮЗ	В–З	ЮВ–СЗ			
Макс. I– Мин. I	+0,7	+4,2	-1,4	+4,1	2,4	55	21
Макс. II– Мин. II	0	+1,2	-0,1	+0,6	1,1	85	35
Макс III– Мин. III	0	+2,6	+1,3	-1,7	1,4	85	35
Нейт. IV–I Нейт. IV–II	0	-1,4	-3,0	+3,5	1,4	85	0

В первой колонке табл. 2 даны комбинации серий; амплитуды при различной ориентации интерферометра приведены во второй, третьей, четвертой и пятой колонках; вероятная погрешность разностей дана в шестой колонке, длина оптического пути приведена в седьмой колонке, а ожидаемая амплитуда по Миллеру — в последней.

Для комбинации максимум — минимум разности не проявляют выраженной регулярности в знаках и имеют значения того же порядка, что и их вероятные погрешности.

Нейтральные серии, которые не должны проявлять какой-либо разности, дают значения тою же порядка, что и для максимума — минимума. Интерферометр теперь был установлен на полом основании 100-дюймового телескопа на Маунт Вилсон, где он будет находиться при постоянной температуре. Непрерывная запись сдвига полос будет регистрироваться на пленке с движущимися кадрами в течение нескольких дней каждую неделю в продолжение года. Отметки азимута, направления вращения и время будут также регистрироваться автоматически.

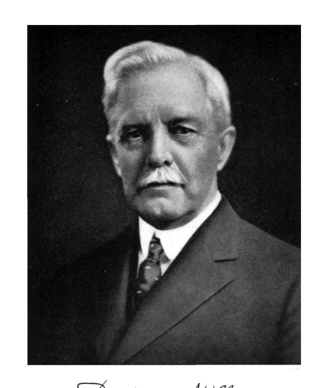
Предполагается, что после того, как эти эксперименты будут проведены в закрытой камере 100-дюймового телескопа, они затем будут проведены на открытом воздухе. Поскольку этого нельзя сделать с нашим действующим аппаратом из-за ветра, изменений температуры ит.п., это может быть сделано в доме со стеклянными стенами, который будет оптически прозрачным. Второй эксперимент, в котором будет использована более плотная среда в оптическом пути, даст варианты методов эксперимента. Для дальнейшего изучения экспериментальных эффектов д-р Сен-Джон предложил неподвижно закрепить основание и оптические части и вращать резервуар со ртутью. Г-н Пирсон уверен, что некоторые преимущества могут быть получены при периодических сдвигах емкости со

ртутью или даже при медленном ее вращении во время регулярных экспериментов.

Институт Карнеги, Вашингтон,
обсерватория Маунт Вилсон, июль 1930.

Publications of the Astronomical Society of the Pacific. San Francisco, California, August, 1930. Vol. XLII N 248. P. 197—202.

18. Д.К.Миллер. Эксперимент по эфирному ветру и определение абсолютного движения Земли, 1933 г.



Dayton C. Miller

Дейтон Кларенс Миллер 1866-1941

Дейтон Кларенс Миллер, Кейсовская школа прикладной науки.

The Ether–Drift Experiment and the Determination of the Absolute Motion of the Earth. Dayton C. Miller, Case Scool of Applied Science

Исторические 1878 –1881 гг

В обычно принятой теории свет рассматривается как волновое движение светоносного эфира, и это сделало необходимым определение основных свойств эфира, которые дают ему возможность передавать волны света и обеспечивать в целом оптические явления. Теории эфира подразумевают тесную связь с теориями структуры вещества и находятся в числе наиболее фундаментальных во всей области физической науки. Предположительно эфир заполняет все пространство, даже то, которое занято материальными телами, и еще он позволяет всем телам двигаться сквозь него совершенно свободно, это очевидно. Вопрос о том, каким образом эфир переносится такими телами, как Земля, вдоль направления их движения, рассматривался наукой еще на ранней стадии развития волновой теории. Открытие аберрации света в 1728 г. было вскоре объявлено общепринятой корпускулярной теорией света. Эффект был определен как простое сложение скорости света со скоростью орбитального движения Земли. Френель предложил объяснение, которое было принято благосклонно, основанное на волновой теории и предполагавшее, во-первых, что эфир покоится в свободном пространстве, а во-вторых, что «плотность эфира» различна в Раз-

личном веществе и что скорость распространения света в любых веществах обратно пропорциональна квадрату плотности эфира. Эти две гипотезы дали полное и достаточное объяснение аберрации; вторая обсуждалась для того, чтобы проверить ее в экспериментах Физо, а также Майкельсона и Морли; первая гипотеза о том, что эфир неподвижен в пространстве, всегда вызывали сомнение.

Первое предложение метода измерения относительного движения Земли и эфира с помощью оптического эксперимента было сделано Джеймсом Клерком Максвеллом в его статье «Эфир», которая была опубликована в VIII томе 9 издания Британской энциклопедии в 1878 г. Предполагалось что эфир находится в покое, что световые волны распространяются в свободном эфире в некотором направлении и всегда с одинаковой скоростью по отношению к эфиру и что Земля в своем движении в пространстве свободно проходит сквозь эфир, не захватывая его. Эксперимент основывался на том соображении, что кажущаяся скорость света должна быть различна в зависимости от того, переносится ли наблюдатель Землей вдоль линии распространения света или под прямым углом к этой линии. Таким образом, появляется возможность определить скорость относительного движения между движущейся Землей и неподвижным эфиром, что должно наблюдаться как «эфирный ветер» или «эфирный дрейф». Орбитальное движение Земли имеет скорость 30 км/с, в то время как скорость света в десять тысяч раз больше и составляет 300.000 км/с. Если бы было возможно измерить прямое влияние орбитального движения Земли на кажущуюся скорость света, то скорость, измеренная вдоль линии движения, отличалась бы от скорости света, распространяемого под прямым углом к этой линии, на 30 км/с или на 1/10.000. Это был бы «эффект первого порядка». Максвелл объяснил, что поскольку все практические методы требуют, чтобы свет распространялся от одного пункта к другому и **возвращался назад** к первому пункту, положительный эффект от движения Земли будет нейтрализован негативным эффектом от возвращения луча, однако благодаря движению наблюдателя во время перемещения света нейтрализация не будет совершенно полной, и можно наблюдать «эффект второго порядка», пропорциональный квадрату отношения скорости Земли к скорости света. Максвелл сделал в статье следующее заключение: «*Изменение во времени распространения света из-за*

наличия относительной скорости эфира таково, что движение Земли по своей орбите создаст только одну стомиллионную долю полного времени распространения и поэтому будет совершенно незаметно».

Покойный проф. Альберт А.Майкельсон принял максвелловский вызов, и когда он находился в Берлинском университете в 1880–1881 гг., он придумал замечательный инструмент, повсеместно известный как интерферометр Майкельсона, который был специально приспособлен для экспериментов с эфирным ветром[52]. В интерферометре луч света буквально расщеплялся на два посеребренным полупрозрачным зеркалом, и оба луча могут быть пропущены под прямым углом друг к другу. В конце заданного пути каждый луч отражается назад, и оба идут к тому месту, где они были разделены. Если два пути, лежащих под прямым углом, были оптически эквивалентны, воссоединенные лучи света согласованно сложат свои волны. Если, однако, пути света в интерферометре различны по своим длинам или по оптическим свойствам среды, через которую свет пропускается, различие в фазе приведет к результату, который может наблюдаться как смещение «интерференционных полос». Наблюдение этих полос дает возможность обнаружить чрезвычайно малые изменения относительной скорости света в двух частях интерферометра; измерения проводятся в долях длин волн света.

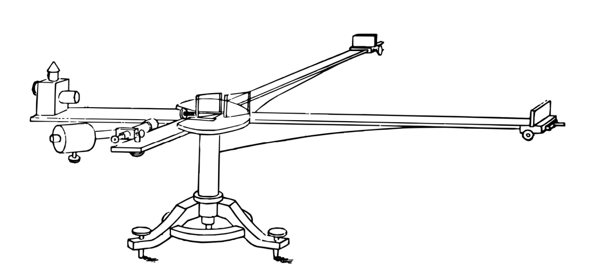


Рис. 18.1 Интерферометр Майкельсона 1881 года

Майкельсон сам применил свой интерферометр для отыскания относительного движения Земли и эфира, как предлагал Максвелл. Александр Грэхэм Белл разработал конструкцию нового прибора

[52] A.A.Michelson // Phil.Mag. 1882. Vol.13. N 5. P. 236; Am.J.Sci. 1882. Vol. 3. P. 395; H.A.Lorentz//Astrophys.J. 1928. Vol.68.P.345;Thos.Preston. Theory of Light, 5th ed. 1928. Vol. 279. P.566; R.W.Wood // Physical Optics. 2nd ed. 1911. Vol.265. P.672.

(см. рис. 18.1), который был изготовлен Шмидтом и Ханшеном в Берлине. Полупрозрачное зеркало было помещено над центральной осью, а два плеча, образующие прямой угол, длиной каждое по 120 см несли на своих концах зеркала. Аппаратура была снабжена телескопическим плечом; наведение его в различные азимуты давало возможность определять эффект орбитального движения Земли, когда свет пропускается в направлении движения и под прямым углом к нему.

Первые попытки проведения экспериментов по эфирному ветру были предприняты в Физическом институте университета в Берлине, но наводки от уличного движения делали невозможным наблюдения полос, кроме как среди ночи. Эксперимент был перенесен в обсерваторию в Потсдам, интерферометр был смонтирован в пустом внутреннем пространстве в нижней части кирпичного фундамента, поддерживающего большой телескоп. В отчете об эксперименте, опубликованном в 1881 г.[53] с уточненным объяснением в статье 1887 г.,[54] установлено, что с учетом только орбитального движения Земли смещение интерференционных полос ожидалось 0,04 ширины полосы; реально же наблюдаемые смещения варьировались от 0,004 до 0,015 ширины полосы и являются просто погрешностью эксперимента. Было сделано заключение, что гипотеза стационарного эфира не подтвердилась.

Эксперименты Майкельсона–Морли, Кливленд, 1887 г

В 1881 г., когда он находился в Европе, Майкельсон был приглашен в профессуру физики во вновь организованную Кейсовскую школу прикладной науки в Кливленде и таким образом познакомился с покойным Эдвардом В.Морли, проф. химии в Западном резервном университете; эти два института располагались напротив друг друга. Проф. Морли предложил некоторые важные усовершенствования интерферометра и методики его применения с тем, чтобы можно было адекватно измерять **ожидавшийся тогда**

[53]A.A.Michelson // Am.J.Scl. 1881. Vol.22. № 3. P.20.

[54]A.A.Michelson, E.W.Morley // Am J.Sci. 1887. Vol.34, N 3. P.333; Phil.Mag. 1884. Vol.24. № 5. P.449; J. de Physique 1886. Vol.7. № 2. P.444.

эффект в эксперименте по эфирному ветру. За счет ассигнований со стороны фонда Баха Национальной академии наук был сконструирован новый интерферометр, в который вошли эти усовершенствования; оптические части были сделаны покойным Джоном А.Браширом из Питсбурга (рис. 18.2).

Для того чтобы избежать возмущений от вибраций и деформаций, оптические части были смонтированы на твердом блоке из песчаника (рис. 18.2), который плавал в ртути, содержащийся в круглом чугунном баке. Эта плавающая опора дала возможность поворачивать интерферометр на различные азимуты во время наблюдений. Каменная квадратная плита имела сторону 150 см и толщину 30 см. Чтобы получить необходимую чувствительность, эффективный световой путь был увеличен с помощью отражения света назад и вперед так, что он проходил диагональ квадратного камня восемь раз, давая эффект интерферометра с плечом около 1100 см длиной. Ожидаемое смещение полос, соответствующее скорости Земли на ее орбите, составляет 0,4 ширины полосы.

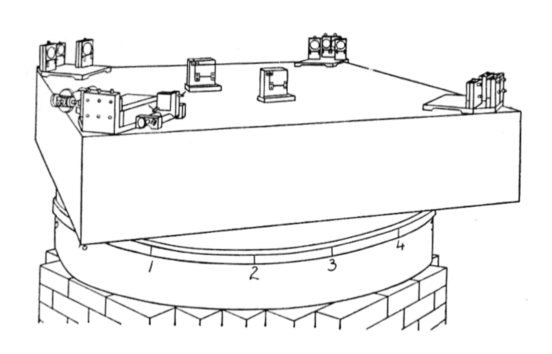
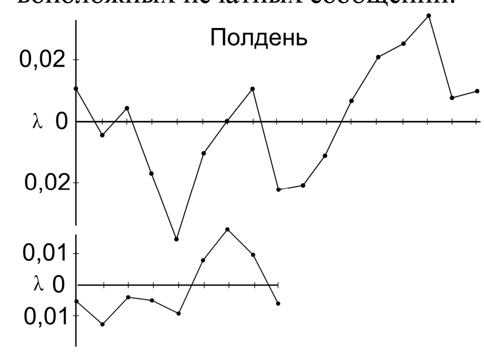


Рис. 18.2. Интерферометр Майкельсона–Морли 1887 года.

Майкельсон и Морли выполнили свой исторический эксперимент в северо-западной комнате подвального этажа главного здания Колледжа Адельберта в Кливленде в 1887 г.; их полная серия наблюдений имела продолжительность 6 ч, по одному часу в полдень 8, 9 и 11 июля и по одному часу вечером 8, 9 и 12 июля и состояла из 36 оборотов интерферометра; считывания проводились на каждом из 16 равноотстоящих положений в каждом обороте. Методы наблюдения были ориентированы на то, чтобы найти предполагаемое движение Земли по направлению к известной точке пространства с заданной скоростью, и поэтому не были сделаны главные серии наблюдений. Кратких серий наблюдений было достаточно, чтобы ясно показать, что полученный эффект не имеет ожидаемого значения. Однако, и это следует подчеркнуть, что **по-**

лученный эффект не был нулевым; чувствительность аппарата была такая, что заключение, опубликованное в 1887 г. установило, что наблюдаемая относительная скорость Земли и эфира не превышает 1/4 орбитальной скорости Земли. Это совершенно отличается от нулевого результата, теперь так часто приписываемого этому эксперименту авторами работ по теории относительности. Также совершенно необходимо обратить внимание на следующий исторический факт: Майкельсон и Морли провели только одну серию наблюдений, в июле 1887 г., и никогда не повторяли эксперимента по эфирному ветру в другое время, несмотря на множество противоположных печатных сообщений.



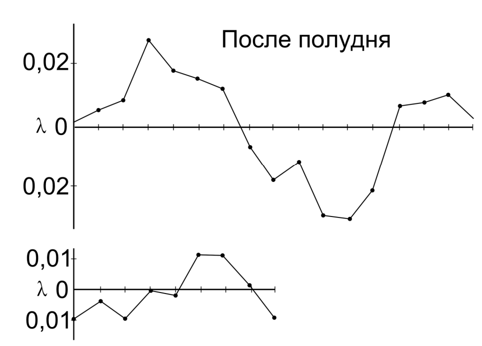


Рис. 18.3. Смещение интерференционных полос в первоначальном эксперименте Майкельсона–Морли в 1887 г. По оси абсцисс — угол поворота интерферометра, одно деление равно 1/16 оборота.

В первоначальной оценке своего эксперимента Майкельсон и Морли привели реальные отсчеты положений интерференционных полос в шести сериях наблюдений. Верхняя длинная кривая на рис. 18.3 показывает среднее из трех серий отсчетов, сделанных в полдень, а нижняя длинная кривая – среднее для трех серий, сделанных вечером. Эти кривые показывают смещение полос для полного оборота интерферометра, в это время смешение полос в результате действия эфирного ветра было периодическим в каждой половине оборота. Чтобы упомянутый эффект, вторую половину длинной кривой суммировали с первой половиной, чем погашались полнопериодический эффект и все нечетные гармоники, показанные на короткой кривой, изображающей желаемый полупериодический эффект, вместе с высшими гармо-



Рис. 18.4. Скорость эфирного ветра, наблюденного Майкельсоном и Морли в 1887 г. и Морли и Миллером в 1902, 1904 и 1905 гг., в сравнении со скоростью, полученной Миллером в 1925 г.

никами, которые также могут быть. Рассмотрение кривых ясно показывает, что они вовсе не дают нулевого значения; они не являются результатом случайного разброса и дают продолжительный систематический эффект.

Полнопериодические кривые были подвергнуты анализу с помощью механического гармонического анализатора, который определил истинное значение полупериодического эффекта; он, будучи сопоставлен с соответствующей скоростью относительного движения Земли и эфира, показал скорость 8,8 км/с для полуденных наблюдений и 8,0 км/с для вечерних наблюдений. На рис. 18.4 плавная кривая показывает значения скорости эфирного ветра в течение суток для широты Кливленда, которые определены детально для дрейфа и которые описаны ниже в настоящей статье по данным наблюдений, сделанных на Маунт Вилсон. Два кружка на этом графике соответствуют скорости дрейфа, реально полученной Майкельсоном и Морли для полуденных и вечерних наблюдений, и показавших полное соответствие с результатами более поздней работы, описанной здесь.

Тот факт, что результат, полученный Майкельсоном и Морли, не был пренебрежимо мал, был очень полно установлен ранее профессором Хиксом из Университетского колледжа Шеффилда в 1902 г. в его важном теоретическом исследовании первоначального эксперимента [55]. Хикс также обратил внимание на присутствие полнопериодического эффекта первого порядка, который никогда не был исследован в достаточной степени; этот эффект первого порядка будет обсужден ниже.

Гипотеза Лоренца–Фицжеральда

Эксперимент Майкельсона–Морли, который показал, что теория эфира была или неполной, или неправильной, привлек широко внимание мира, потому что он имел фундаментальный характер, а также потому, что результат оказался совершенно неожиданным. Проф. Фицжеральд из Дублина в 1891 г. выдвинул объяснение малого эффекта на основе гипотезы о том, что силы, связывающие молекулы в твердом теле, могут изменяться при движении тела сквозь эфир и таким образом, что размеры каменного основания интерферометра должны укорачиваться в направлении движения и это сокращение может быть таким, что оно нейтрализует оптический эффект, отыскиваемый в эксперименте Майкельсона – Морли. Фицжеральд не опубликовал своей теории в научных журналах, но он изложил ее в своих лекциях. Эта теория была представлена к публикации сэром Оливером Лоджем в его речи «Проблемы аберрации и новые эфирные эксперименты», представленной 31 марта 1892 г. в Королевское общество, эта речь была опубликована в Philosophical Transactions в 1893 г. [56]. Лодж изложил дополнительные детали этой гипотезы в своей недавно изданной автобиографии [57]. В 1895 г. проф. Лоренц из Лейдена развил теорию, придав ей

[55] W.M.Hicks // Phil. Mag. 1902. Vol. 3. № 6, 9. P.256; Nature 1902. Vol.65. P.343; E.W.Morley, D.C.Miller // Phil. Mag. 1905. Vol. 9. № 6. P.669; A.Righy // Comptes Rendus 1919. Vol. 168. P.837; 1920. Vol. 170. № 497. P. 1550; 1920. Vol. 171. P.22; E.R.Hedrick // Astrophys.J. 1928. Vol.68. P.374.

[56] G.F.Fitzgerald, see O.J.Lodge. Aberration Problems // Phil. Trans. Roy. Soc. 1894. Vol.184. P.749.

[57] Sir Oliver Lodge. Past Yeares. 1932. P.204.

системный характер, имея в виду, что частицы всех твердых тел удерживаются вместе электрическими силами и что движение тела как целого должно изменять электрические силы между атомами за счет появления магнитных эффектов, вызванных движением. Результатом этого должно быть сокращение размера тела в направлении движения, и это сокращение пропорционально квадрату отношения скоростей перемещения и света, оно должно иметь такое значение, чтобы полностью аннулировать эффект эфирного ветра в интерферометре Майкельсона–Морли [58]. Если сокращение зависит от физических свойств твердого тела, то можно предположить, с другой стороны, что полный ожидаемый эффект, аннулируемый в одном аппарате, может в аппарате из другого материала дать эффект, отличный от нуля, возможно, противоположного знака.

Эксперименты Морли – Миллера, Кливленд, 1902—1906 гг.

Интерферометр из дерева, 1902 г.

На Международном конгрессе по физике, состоявшемся в Париже в 1900 г. во время Международной выставки, Лорд Кельвин произнес речь, в которой он изложил основные теории эфира и подчеркнул значение результатов экспериментов Майкельсона – Морли для этих теорий. [59] Проф. Морли и автор присутствовали, и в их разговоре с Лордом Кельвином последний решительно настаивал на повторении эксперимента по эфирному ветру с более совершенной аппаратурой. Морли и Миллер затем сконструировали интерферометр, специально рассчитанный на проверку гипотезы Лоренца–Фицжеральда. База этого интерферометра была выполнена в форме креста, сделанного из белых сосновых досок длиной около 430 см, световой путь был в 3 раза длиннее использованного Майкельсоном и Морли в 1887 г. Основные размеры, оптические части и методы наблюдений с использованием этой аппа-

[58] H.A.Lorentz. Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Korpern. Leyden. 1893; Theory of the Electron. 1909. P. 195.

[59] Lord Kelvin. Rapports presetes au Congres International de Physique. 1900. Vol.2. P.l.

ратуры были теми же, что и для стального интерферометра, детально описанного в последующих разделах настоящей статьи. Прибор был смонтирован в северо-западной угловой комнате в подвале главного здания Кейсовской школы прикладной науки; в августе 1902 г. и в июне 1903 г. были проведены три серии наблюдений, состоящие из 505 поворотов интерферометра. Был обнаружен небольшой положительный эффект, показанный квадратиком на рис. 18.4, который, хотя и был несколько больше, чем в предшествующем эксперименте, был еще слишком мал, что указывало на то, что если уменьшение наблюдаемой скорости отнести за счет гипотетического сокращения размеров, то сосна подвержена ему в той же степени, что и песчаник. Изменения в деревянных опорах из-за вариаций влажности и температуры затрудняли получение точных наблюдений, и было решено отказаться от сосновой базы аппаратуры и сконструировать прибор с базой из металла для закрепления тяжелых частей, причем такой, чтобы в ней длина оптического пути определялась различным материалом – деревом или металлом – по желанию.

При разработке новой аппаратуры были проведены эксперименты для выявления влияния магнитного поля на железные части прибора; такое влияние на результаты следовало исключить. На противоположных концах одного из длинных плеч крестовины были подвешены массивные бруски железа, причем один брусок размещался параллельно земному магнитному полю, а другой – поперек него; их влияние менялось на противоположное при изменении азимута аппарата на противоположный. Наблюдения с нагрузкой дали те же самые результаты, что и ранее. В дальнейшем эксперименте на одном плече были размещены аналитические балансиры, вместе с которыми железный брусок весил 1200 г. Брусок был ориентирован так, чтобы при одном азимуте аппарата он был параллелен направлению земного магнитного поля, в то время как второй располагался поперек направления поля. При этом могла быть определена разница в полмиллиграмма, но такой разницы не было. Наблюдение за эффектом проводилось с помощью размещения груза с известной массой на одном плече интерферометра; было показано, что земной магнетизм не может являться возмущающим фактором.

Описание нового стального интерферометра

Ассигнования, выделенные фондом Румфорда Американской академии искусств и наук, сделали возможным разработку в 1904 г. совершенно нового стального аппарата. Расчет основы интерферометра, выполненный проф. Ф. Х. Неффом из отдела гражданской техники Кейсовской школы прикладной науки, был проведен с учетом того, что все оптические части и принадлежности должны быть размещены на двух балках из конструкционной стали (рис. 18.5, 18.10 и 18.14), каждая около 430 см длины, пересекающихся в форме креста. Цель этого расчета была гарантировать структурную симметрию и наивысшую жесткость.

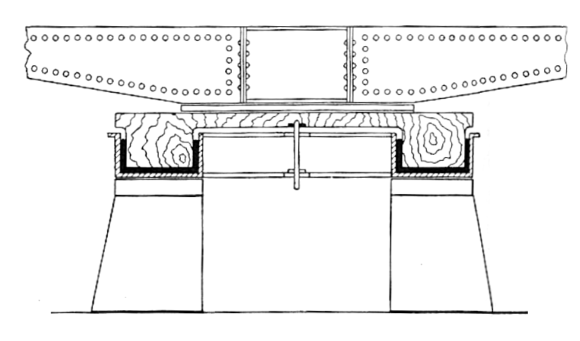


Рис. 18.5. Секция крестовины на ртутном поплавке для интерферометра

Стальной крест крепился на круглом деревянном поплавке (рис. 18.5) диаметром 150 см; на нижней стороне размещалось деревянное кольцо, имеющее внешний диаметр 150 см, внутренний диаметр 80 см и толщину 20 см. Деревянный поплавок покоился на ртути, налитой в кольцевой желоб из чугуна, размеры которого оставляли зазор около 1 см вокруг дерева; этот зазор заполнялся ртутью. Потребовалось около 275 кг ртути, чтобы обеспечить плавучесть всего аппарата, масса которого составила около 1200 кг. Поплавок сохранял центральное положение благодаря центральной шпильке, которая удерживалась без давления. Кольцевой железный бак поддерживался опорами из кирпича или бетона такой высоты, которая требовалась для того, чтобы окуляр наблюдательного телескопа находился на уровне глаз наблюдателя, соответственно его позе во время хождения вокруг интерферометра, плавно поворачивающегося на ртути. Чугунный желоб для ртути вместе с круглым деревянным поплавком являются теми же самыми частями, которые были использованы в первоначальном интерферометре Майкельсона и Морли в 1887 г., и эти две части про-

должают использоваться автором до настоящего времени. Остальные части аппарата 1887 г. были выброшены, исключая только три чугунных держателя для зеркал.

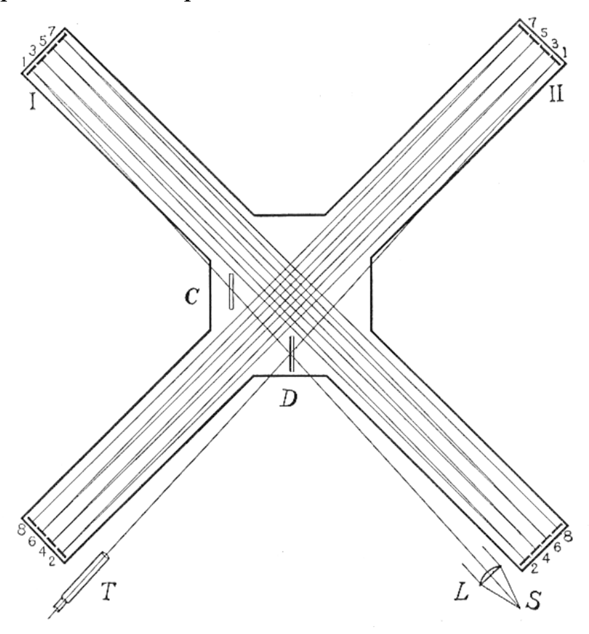


Рис. 18.6. План оптических путей в интерферометре

Все плоские оптические поверхности были сделаны в 1902 г. оптическим мастером О. Л. Петитдидером из Чикаго, и их качество было совершенным; они состояли из двух плоскопараллельных пластин, каждая размером 10,5 x 17,5 см, и 16 плоских зеркал круглой формы диаметром 10,25 см. Общий план интерферометра показан на рис. 18.6, который выполнен не в точном масштабе. На центральной пластине на пересечении плеч крестовины смонтированы полупрозрачное посеребренное диагональное зеркало *D*, и его компенсационная пластина *C*, изготовленные из одной плоскопараллельной пластины. На внешнем конце каждого плеча крестовины смонтировано по четыре круглых зеркала на металлической пластине, которая удерживается в вертикальном положении. Каждое из 18 зеркал удерживается пружинами против точек трех регулировочных винтов, чтобы иметь возможность осуществить необходимую регулировку для обеспечения надежной интерференции.

Для того чтобы обеспечить возможно более точную симметрию двух плеч, не используется микрометрический винт для перемещения концевого зеркала параллельно самому себе, а все регулировки обеспечены с помощью трех простых винтов, так же, как и для других зеркал. Свет от источника *S* выпускается параллельно конденсирующей системой *L,* состоящей из трех линз диаметром 15 см, и достигает полупрозрачного зеркала *D*. Часть этого света передается к зеркалу I–1; он последовательно отражается от зеркал 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8, пройдя расстояние, примерно равное 7,5 длин плеча крестовины. От зеркала 8 свет возвращается обратно к *D,* где он частично отражается к наблюдательному телескопу *T*. Второй луч света падает на *D* и отражается вдоль второго плеча крестовины к II—1, отражается вперед и назад, возвращается к *D* и частично пропускается к наблюдательному телескопу. В реальном аппарате (см. рис. 18.10) зеркала 5 и 7 размещены выше зеркал 3 и 1, а зеркала 6 и 8 выше зеркал 4 и 2. С помощью этой системы зеркал эффективная длина плеча интерферометра значительно возрастает и в данном аппарате составляет 3203 см, обеспечивая полную длину пути, прямого и обратного, 6406 см, что составляет около 112.000.000 длин волн ацетиленового света, примененного в эксперименте. Телескоп имел апертуру 3,3 см, длину фокусного расстояния 35 см, и увеличение 35 раз. Телескоп сфокусирован на поверхности зеркала 8, где, после того как регулировка завершена, должны появиться интерференционные полосы.

Такой аппарат, состоящий из оптических плоских поверхностей, стальной крестовины и ртутного бака с поплавком, был применен автором во всех экспериментах с 1904 г. до настоящего времени, исключая то, что для эксперимента декабря 1921 г. стальная крестовина была размещена на основании из бетона. В 1923 г. малый считывающий телескоп был заменен на астрономический телескоп с 13-сантиметровой апертурой, имеющий увеличение в 50 раз. Весь путь света в аппарате закрыт, покрытие было выполнено из соснового дерева, но только для экспериментов 1904 г.; в 1905 г. покрытие было для всех плеч выполнено из стекла, это сделало аппарат полностью прозрачным в горизонтальной плоскости; это устройство, показанное на рис. 18.13 и 18.16, применяется до настоящего времени.

Регулировка интерферометра

Когда зеркала установлены, расстояния между ними, равные примерно 425 см, выравнивались с помощью легкой деревянной линейки, и зеркала регулировались так, что два световых луча, каждый состоящий из восьми различных частей, были примерно одинаковыми. Для установления интерференции применялся натриевый свет от обычной натриевой лампы лабораторного типа; наблюдая визуально максимум системы натриевых интерференционных полос, регулировки осуществлялась по центру этой системы, где полосы белого света могли быть замечены. Когда аппарат был впервые собран на Маунт Вилсон, время, потребовавшееся для приближенной регулировки расстояния между зеркалами с помощью деревянной линейки, составило около 1 ч, для средних зеркал – 15 мин, для нахождения полос с белым светом – 45 мин или 2,5 ч для всей операции. В другом случае полосы для натриевого света были найдены за 10 мин тщательной работы, а полосы белого света — за 45 мин. Для предварительной регулировки пытались применить ртутную дугу и другие монохроматические источники, но натриевый источник оказался предпочтительнее, потому что средняя часть интерференционной системы полос, которая соответствует равным световым путям в двух плечах интерферометра, может быть легко установлена. Полосы белого света были выбраны для наблюдений потому, что они состоят из небольших групп полос, имеющих центральную отчетливую черную линию с резкими краями, которая формируют нулевую отметку для последующих отсчетов. До 1924 г. в качестве источника света применялась маленькая ацетиленовая лампа типа тех, которые используются для велосипедов; лампа была закреплена на кронштейне, установленном на конце одного из плеч интерферометра, как показано на рис. 18.10 и 18.13. Такая лампа дает концентрированный, яркий и очень устойчивый свет с минимальным выделением тепла; сама лампа очень проста, имеет малую массу, а горит несколько часов, почти не требуя внимания. Для наблюдений 1924 г. и для части наблюдений апреля 1925 г. источник был размещен вне комнаты интерферометра, как объяснено позже, и была применена большая лампа типа автомобильной фары, показанная на рис. 18.14. В апреле 1925 г. была вновь выбрана маленькая ацетиленовая лампа, теперь она была помещена на потолке покрытия интерферометра по центральной

оси, как показано на рис. 18.16, свет передавался в оптические пути с помощью двух зеркал на конце одного из плеч. Устройство это действует и сейчас. Монохроматические полосы в наблюдениях эфирного ветра никогда не применялись, хотя экспериментальные попытки и делались, как будет описано ниже.

Интерференционные полосы появляются на поверхности наиболее удаленного зеркала № 8 на показанной выше схеме. К несущей раме этого зеркала прикреплен маленький кончик стрелки из латуни, который находится почти в контакте с зеркалом и проектируется в поле зрения, формируя фиксированную позицию отсчета для определения положения системы полос. Прежде чем начать наблюдения, концевое зеркало № 8 на телескопическом плече очень тщательно регулируется, чтобы подобрать подходящую ширину вертикальных линий. Имеются две регулировки углов этого зеркала, которые будут давать линии той же ширины, но которые производят противоположные смещения линий при одних и тех же изменениях в одном из световых путей. Всегда очень большое внимание требуется для того, чтобы отрегулировать этот критический угол так, чтобы заставить точку указательной стрелки появляться *справа* от центральной черной полосы, когда световой путь телескопического плеча увеличивается в эффективной длине; отсчет для такого положения записывается со знаком плюс. Когда указатель появляется слева от центральной полосы, – отсчет отрицательный, соответствуя укорочению телескопического плеча.

Регулировка обычно такова, что от шести до десяти полос появляются в поле зрения, и центральная черная полоса находится не более чем на расстоянии двойной ширины полосы от указателя. На рис. 18.7 показано поле зрения с установленными узкими полосами и широкими полосами, последние соответствуют условиям реального наблюдения.

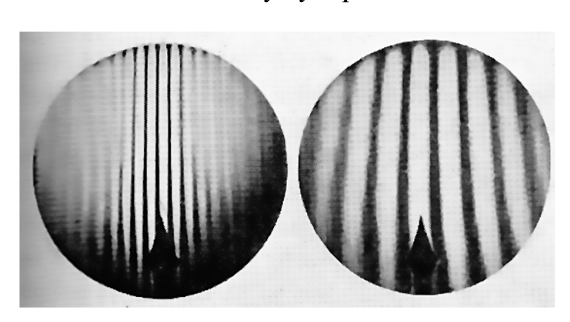


Рис. 18.7. Интерференционные полосы, наблюдаемые в интерферометре

Метод применения интерферометра

Метод применения интерферометра для определения эфирного ветра предполагает, что телескопическое плечо интерферометра будет находиться в линии движения Земли с учетом проекции движения эфира на плоскость интерферометра, поскольку второе плечо находится под прямым углом к этому движению. Интерференционные полосы будут показывать определенный отсчет по отношению к указателю в поле зрения. Аппарат затем поворачивается на угол 90°, так что влияние движения Земли на кажущуюся скорость света переносится с одного телескопического плеча на другое: в результате система интерференционных полос будет смещена на расстояние, зависящее от квадрата отношения скорости движения к скорости света. Однако направление абсолютного движения Земли неизвестно, поэтому невозможно установить интерферометр определенно в желаемое положение и его приходится медленно вращать на ртутном поплавке, так что телескоп проходит последовательно все азимуты. Относительное движение Земли и эфира должно будет тогда вызывать периодическое смещение интерференционных полос, полосы двигаются сначала в одну сторону, а затем в другую по отношению к указателю в поле зрения, с двумя полными периодами в каждом обороте инструмента.

Неизменность температурных условий важна для постоянства размеров аппарата и рефракции воздуха в оптическом пути. Обычно аппарат приводится в движение за час или более до того, как начать отсчеты. Иногда для того, чтобы обеспечить постоянство распределения температуры применяется вентилятор, а окна обычно были открыты во все стороны. Однако когда наблюдения проводились в дневное время, окна должны были закрываться занавесями или темной бумагой. Аппарат приводится в движение тягой в несколько унций (унция – 28,3 г) посредством тонкой струны, прикрепленной к деревянному поплавку; струна смягчала усилие, и даже если бы она порвалась, не могло бы произойти заметного рывка стального интерферометра, который покоится на поплавке. Интерферометр поворачивается так легко, и он имеет такую инерцию, что если он начал вращение, то он будет продолжать вращение полтора часа или более без толчков и рывков. Он вращается совершенно свободно, так что это является «плаванием» без ускорений и возмущений.

Цель наблюдений заключается в определении смещения интерференционных полос и направления, в котором направлен телескоп, когда это смещение максимально. Наблюдатель ходит по кругу диаметром около 20 футов (6 м), удерживая свой глаз на движущемся окуляре телескопа, прикрепленного к интерферометру, который плавно поворачивается вокруг своей оси со скоростью 1 об. за 50 с. Наблюдатель не должен касаться интерферометра во время своего пути и в то же время он не должен терять из виду интерференционных полос, которые видны только через маленькую апертуру окуляра телескопа, имеющую диаметр около 0,25 дюйма (порядка 6,4 мм). Струна, прикрепленная к поплавку и упомянутая выше, может быть использована как чувствительная направляющая, чтобы помочь наблюдателю в нахождении правильного закругленного пути. К деревянному поплавку прикреплена тонкая металлическая щетка, последовательно касающаяся 16 контактов, находящихся на равном расстоянии друг от друга на баке со ртутью, замыкая электрическую цепь, которая включает небольшой звуковой сигнализатор и указывает мгновение, в которое должен происходить отсчет.

Совершенно реально можно провести отсчеты положений интерференционных линий, соответствующих шестнадцати равноотстоящим азимутам на одном обороте интерферометра при скорости 1 об. за 50 с. «Серия» отсчетов, соответствующая «одиночному наблюдению» и изображенная одной точкой на диаграммах первоначальных наблюдений, обычно состоит из 320 отсчетов, сделанных за 20 об. на протяжении 18 мин. Среднее время между началом и окончанием серии отсчетов принято за время наблюдения. Обычно 20 об. наблюдаются в непрерывной последовательности, однако если один отсчет при каком-либо азимуте утрачен из-за вибрации держателя или по какой-нибудь иной причине, то аннулируется весь оборот. Регулировки сохраняются так, чтобы центральная линия в поле зрения (см. рис. 18.7) никогда не отклонялась от точки отсчета на расстояние большее, чем две ширины полосы. Часто температурный дрейф таков, что полосы перемещаются на большее расстояние, до завершения полной серии из 20 об. Когда это происходит, система полос восстанавливается в центральное положение простым перемещением малой массы 200 или 300 г на одном конце плеча или снятием массы с плеча. Все это делалось без остановки непрерывного вращения аппарата и обычно без перерыва

отсчетов, а если отсчет не был зафиксирован, то этот оборот выбрасывался, и наблюдения продолжались до тех пор, пока не набиралась серия из 20 полных оборотов. Только изредка необходимо вновь подрегулировать положение полос с помощью винтов, на которые опираются зеркала. В некоторых случаях температурные условия оказывались столь стабильными, что не требовалось регулировать полосы в течение нескольких серий наблюдений, которые могут продолжаться час или более; такие серии наблюдений повторялись регулярно в течение нескольких часов рабочего времени.

Представляется очень важным, чтобы интерферометр не был закрыт ни металлическим экраном, ни другим непрозрачным покрытием, а также то, что аппарат не должен помещаться внутри комнаты с тяжелыми стенами, какие требуются для комнат с постоянной температурой. Насколько это возможно, аппарат должен быть открыт, чтобы не происходило захвата эфира окружающими прибор массивными материалами. Инструмент весьма чувствителен к изменению температуры и к вибрации опоры, а измеряемая величина чрезвычайно мала. Когда же аппарат использует минимальные покрытия, он подвержен в большей степени температурным возмущениям, чем когда он полностью защищен; тогда результаты в большей степени разбросаны среди отдельных отсчетов, поэтому необходимо собрать большое число отсчетов и так быстро, насколько это возможно при этих условиях. Усреднение отсчетов затем выявит присутствие эфирного дрейфа, потому что температурные изменения, которые происходят более медленно, будут отсутствовать в конечном усредненном результате. Так как отсчеты производятся с интервалом около 3 с, положение максимального смещения зависит от считываний, продолжающихся меньше 10 с. Полный период смещения происходит в интервале около 25 с. Любой температурный эффект или другая возмущающая причина, которая не строго **периодична** каждые 25 с в интервале 50 мин., будет гарантированно отброшена в процессе усреднения, в то время как останется реальный эффект. Таким образом, результаты наблюдений за направлением абсолютного движения в широком диапазоне не зависят от обычных температурных вариаций. Наблюдения являются дифференциальными и могут быть выполнены со значительной уверенностью во всех условиях. Возмущения из-за температуры или других причин, длящиеся несколько секунд или несколько минут, могут влиять на реальные значения наблюдаемо-

го смещения и делать менее уверенным значение скорости эфирного ветра; однако в то же время положение азимута смещения им не подвержены.

До 1925 г. интервал времени реальных считываний ограничивался одним или двумя часами определенного времени суток; время, требуемое для подготовки и предварительной регулировки, увеличивало этот интервал еще на два часа. Процедура, примененная в 1925 г., сделала необходимым распределение наблюдения равномерно по 24 часам суток для того, чтобы определить суточные изменения. Требуя несколько минут на считывание показаний термометров и для перенастройки полос, а также несколько минут на отдых, две серии отсчетов могут быть сделаны каждый час в течении рабочего дня, или ночи, в течение 8 часов. Собраны сотни серий отсчетов, распределенные по 24 часам суток, выполненных при удовлетворительных погодных условиях на протяжении шести–восьми дней. Такие серии наблюдений окончательно превращались в одну группу, соответствующую средней дате эпохи; некоторые серии из них изображены на рис. 18.22.

Единственное, что должен был делать наблюдатель, – это замечать и объявлять положение центральной черной полосы относительно начальной точки отсчета, в десятых долях ширины полосы, со знаком «+» или «–», в тот момент, когда прозвучит сигнал электрического зуммера.

Ассистент записывал эти показания в том же порядке, в подготовленную форму, начиная от отсчета, соответствующего северному или другому отмеченному азимуту, как показано на рис. 18.8, на котором записаны реальные наблюдения, проведенные на Маунт Вилсон 23 сентября 1925 г. Наблюдатель не обращал внимания на азимут. Отсчет определялся по мгновенной визуальной оценке; совершенно непрактично применять какие-либо шкалы в поле зрения, потому что ширина полос подвержена небольшим вариациям. То, что такой метод достаточен, показано с помощью постоянства и систематической периодичности кривых, изображающих результаты наблюдений. Числовое значение, использованное как результат «одиночного наблюдения», есть среднее для сорока таких отсчетов; функция периодична каждые полоборота, и точность ее определения приближается к сотым долям полосы.

(79) Mt. Wilson, Sept. 23, 1925

Thermometers 2:57 AM: N 14.0°, E 14.2°, S 13.9°, W 14.1°

3.09 + 8 = 3.17 AM – local mean time
θ = 3h 22m Weather – Clear
Weight – 7
Fringes – 6
Sign ✓

Thermometers 3:19: N 13.9°, E 14.0°, S 13.8°, W 14.1°

3:02 AM 1	+10	+11	+10	+10	+9	+7	+7	+8	+9	+9	+7	+7	+6	+6	+5	+6	+7	
2	+7	+7	+6	+5	+4	+4	+4	+3	+2	+3	+3	+4	+1	+1	+1	+0	+1	
3	+1	+1	+0	−1	−2	−3	−2	−2	−2	−1	−1	−2	−3	−3	−5	−4	−4	
4	−4	−5	−5	−6	−6	−6	−7	−6	−6	−7	−9	−9	−10	−10	−10	−11	−13	
5	−13	−15	−15	−16	−17	−19	−19	−18	−17	−17	−18	−19	−19	−19	−17	−16	−15	Adjust
6	0	0	0	0	0	0	0	+1	+4	+6	+7	+8	+9	+9	+10	+10	+8	
7	+8	+7	+5	+5	+3	+3	+3	+4	+5	+5	+5	+4	+1	0	−1	−1	−2	
8	−2	−2	−3	−3	−2	−2	−1	−1	−2	−3	−5	−7	−9	−9	−11	−12	−11	
9	−11	−11	−11	−12	−14	−14	−11	−10	−10	−9	−9	−9	−10	−10	−10	−10	−10	Adjust
10	+8	+8	+8	+7	+7	+6	+6	+5	+4	+4	+3	+1	0	0	−2	−3	−1	
11	−1	−1	−1	−2	−3	−3	−2	−2	−2	−1	0	−1	−2	−1	0	0	0	
12	0	+1	+1	+1	+1	+3	+4	+6	+7	+7	+9	+9	+9	+9	+9	+8	+9	
13	+9	+10	+10	+10	+10	+9	+9	+9	+10	+10	+9	+9	+9	+8	+7	+7	+7	
14	+7	+8	+9	+8	+9	+9	+9	+10	+11	+12	+12	+12	+11	+11	+11	+11	+10	
15	+10	+10	+10	+8	+5	+4	+3	+3	+5	+4	+3	+1	+1	0	0	0	0	
16	0	0	−1	−1	−2	−3	−3	−5	−5	−5	−5	−5	−6	−6	−6	−5	−4	
17	−4	−5	−5	−4	−5	−6	−6	−5	−5	−5	−6	−6	−7	−7	−8	−9	−10	
18	−10	−10	−11	−11	−12	−12	−11	−10	−10	−10	−10	−11	−11	−11	−12	−12	−12	
19	−12	−13	−14	−15	−15	−16	−16	−16	−15	−15	−16	−17	−18	−19	−19	−20	−21	Adjust
3:16 AM 20	+1	+1	+2	+1	+1	+2	+4	+5	+7	+7	+8	+7	+6	+5	+4	+4	+4	
	+61	+64	+61	+55	+49	+47	+49	+54	+64	+67	+66	+62	+53	+49	+47	+46	+46	
	−57	−62	−66	−71	−78	−84	−78	−75	−74	−73	−79	−86	−95	−95	−101	−103	−103	Temp.
	+4	+2	−5	−16	−29	−37	−29	−21	−10	−6	−13	−24	−42	−46	−54	−57	−57	
	0	+4	+8	+11	+15	+19	+23	+27	+30	+34	+38	+42	+46	+50	+53	+57	+61	+61
	+4	+6	+3	−5	−14	−18	−6	+6	+20	+28	+25	+18	+4	+4	−1	0		
÷20	+.20	+.30	+.15	−.25	−.70	−.90	−.30	+.30	+1.00	+1.40	+1.25	+.90	+.20	+.20	−.05	0		Mean +.27
	−.07	+.03	−.12	−.52	−.97	−1.17	−.57	+.03	+.73	+1.13	+.98	+.63	−.07	−.07	−.32	−.27		
	+.73	+1.13	+.98	+.63	−.07	−.07	−.32	−.27										
	+.66	+1.16	+.86	+.11	−1.04	−1.24	−.89	−.29										
	+.33	+.58	+.43	+.05	−.52	−.62	−.45	−.12										

Рис. 18.8. Форма записей наблюдений эфирного ветра

Когда проводились наблюдения, ни наблюдатель, ни тот, кто записывал отсчеты, не могли даже в самой малой степени так или иначе привнести какую-либо периодичность как в значения, так и в направление любого периодического эффекта; проведение наблюдений совершенно не зависит от чего бы то ни было и является простой механической операцией. То, что это так, станет очевидно из анализа данных, отражающих отсчеты, записанные в таблице на рис. 18.8 и на рис. 18.9.

Обработка интерферометрических наблюдений

Обработка серий отсчетов проводится обычным арифметическим способом. В записи на рис. 18.8 по горизонтальным линиям фиксируются шестнадцать отсчетов за один оборот интерферометра, первый отсчет соответствует направлению телескопа на север; в таблице показаны отсчеты для двадцати оборотов. Семнадцатое число в конце каждой строки соответствует первому отсчету следующей после нее строки или оборота; если проведена регулировка полос, то это число является началом отсчетов для последующего оборота до проведения регулировки. В каждой колонке 20 чисел суммируются соответственно с учетом знаков «+» или «–». При идеальных условиях все числа одной колонки, в том числе и в 17-й колонке, должны быть целыми числами, но в действительности всегда имеется сдвиг системы полос по отношению к начальной точке отсчета. Этот сдвиг принимается за стабильный линейный процесс на протяжении времени одного оборота или около двадцати пяти секунд, что эквивалентно представлению о том, что периодическое смещение полос вызвано наклоном оси. Компенсация сдвига осуществляется прибавлением к сумме чисел 17-й колонки такого числа, которое сделало бы ее равной сумме чисел первой колонки, а затем прибавлением к сумме первой колонки 1/16 этого числа, к сумме второй колонки – 2/16 и т. д., это исправляет наклон числовой оси. Эти исправленные суммы в 16 колонках отсчетов делятся на 20 – число записанных оборотов, давая усредненное положение центральной черной интерференционной линии для каждого из 16 азимутов полного оборота прибора. Далее средняя ордината вычитается из ординаты каждой точки, и теперь эти точки, будучи нанесены на график, дадут кривую смещения полос, приписываемую определенному времени.

Для того чтобы определенно выявить скорость эфирного ветра, эта серия из 16 усредненных отсчетов положений интерференционных полос подвергается механическому гармоническому анализу, будучи предварительно нанесенной на график с широкой шкалой, чтобы точнее выделить вторую гармоническую составляющую, которая отражает полупериодический эффект эфирного ветра второго порядка; этот процесс проиллюстрирован на рис 18.21 IV. В целях предварительного изучения результатов наблюдений удобно получить приблизительное графическое изображение эф-

фекта с помощью следующей процедуры. Вторая половина строки шестнадцати усредненных отсчетов помещается под первой половиной и в каждой колонке получается среднее от двух чисел; таким сложением уничтожается любой полнопериодический эффект, а также эффект любых нечетных высших гармоник, которые могли присутствовать. Последняя строка из восьми членов, изображающая средние значения ординат полупериодического эффекта вместе с четными гармониками, которые могут присутствовать, получена из **сорока** серий отсчетов эффекта второго порядка. В верху таблицы на рис 18.8 приведены отсчеты для полного оборота интерферометра, а внизу — для полупериодных эффектов.

Серии отсчетов, проиллюстрированные здесь, не исключение; это типичный пример значений и периодичности смещения полос из-за ветра. Это частичное смещение соответствует скорости эфирного ветра 9,3 км/с. Каждая серия отсчетов показывает вполне определенную периодичность, которая систематически изменяется как по значениям, так и по фазе.

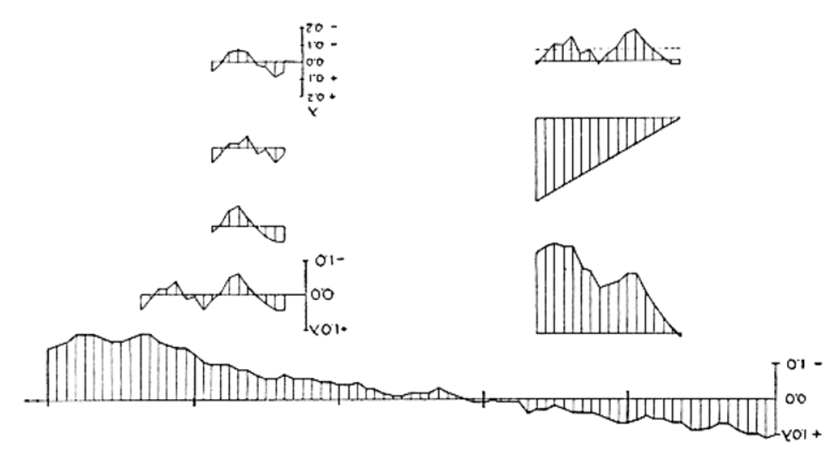


Рис. 18.9. Интерферометрические отсчеты и их последовательная обработка для выделения влияния эфирного ветра

Метод сокращения наблюдений далее проиллюстрирован графическим изображением на рис. 18.9, который показывает применение полного процесса к первым пяти оборотам, записи которых приведены на рис. 18.8. Отсчеты для пяти оборотов приведены к масштабу в верхней части рисунка. Ниже слева показано суммиро-

вание пяти оборотов для 16 азимутов одного полного оборота, в котором периодическое смещение ясно колеблется около снижающейся наклонной оси; еще ниже приведена линейная компенсация сдвига и еще ниже — суммы отсчетов с устраненным сдвигом. Среднее из 16 ординат вычтено из каждой ординаты, давая кривую, отнесенную к своей собственной оси, как показано справа. Ниже показаны две половины полнооборотной кривой, одна ниже другой; еще ниже — половина суммы двух кривых, из которой полнопериодический эффект теперь устранен. Это и есть средний эффект для половины периода, полученный из суммы пяти оборотов; для окончательной оценки ординаты должны быть разделены на пять, это показано изменением масштаба на рисунке. Интересно отметить, что кривые полного оборота и половины оборота получены идентично из соответствующих кривых, полученных из полной серии отсчетов для двадцати оборотов, показанных на рис. 18.8.

Стабильность интерферометра

Стальная крестовина, которая составляет основу интерферометра, обеспечивает замечательную стабильность и надежность. Длина светового пути, прямого и обратного, равна примерно 112.000.000 длинам волн и для получения интерференционных полос в белом свете два световых пути, находящихся под прямым углом друг к другу, состоят из шестнадцати отдельных путей и должны быть равны друг другу с точностью доли длины волны. Различие в длине от пяти до десяти длин волн смещает интерференционную систему полос белого света так сильно, что се нельзя видеть в телескоп, когда регулировка выполнена для широких полос. Винты, используемые для регулировки концевого зеркала № 8, имеют шаг 0,635 мм и поворот винта на 16° создает изменение оптического пути в 100 волн. Эти винты поворачиваются с помощью шпилек, вставляемых в отверстия головок, чем обеспечивается тонкая регулировка. Обычно окончательная регулировка центральной линии к нулевой отметке проводится посредством смещения малого груза на конце плеча крестовины, вызывая изменения в длине за счет изгиба.

В различное время были проведены испытания для определения жесткости стальной крестовины; было показано, что четыре плеча имеют примерно одинаковую жесткость и что груз в 282 г,

помещенный на конце одного из плеч, производит удлинение в многократном световом пути, достаточное, чтобы сместить систему полос на одну ширину полосы, меньшую, чем одна стомиллионная доля длины светового пути. Подобные же испытания были проведены и с бетонной базой, использованной для интерферометра в декабре 1924 г. Испытания показали, что 30 г, помещенные на конце плеча, производят смещение на ширину одной полосы; бетонная основа оказалась, таким образом, в десять раз чувствительнее к искривлениям, чем сталь.

Изменение температуры аппарата является главной причиной небольших изменений относительных длин плеч. Полосы белого света, отрегулированные к центру поля зрения, при изменении температуры могут переместиться за пределы поля зрения; однако изменения эти полностью обратимы, и возврат температуры к первоначальному значению возвращает полосы вновь в поле зрения. Не раз бывало так, что в конце рабочего дня полосы находились в поле зрения, и на следующий день после прекращения работ и пребывания в ночной температуре полосы по-прежнему находились в поле зрения без какой-либо подрегулировки. Влияние температуры на прибор столь однозначно, что предусматривался температурный масштаб для положения регулировочных винтов. Изменение температуры на 10° требует изменения поворота винта на 18°, что соответствует изменению дублированного светового пути на 112 длин волн.

Когда аппарат впервые был собран для начала серий наблюдений, для регулировок аппарата применялся натриевый свет. Позже было установлено, что полосы белого света имеют малые потери и нет необходимости вновь обращаться к монохроматическому свету во время периода наблюдений, исключая случаи перемонтажа аппарата. Полосы белого света сохраняют свою регулировку в течение двух недель и более. При завершении наблюдений на Маунт Вилсон в сентябре 1925 г. зеркала и другие оптические части были сняты и упакованы для хранения. Когда наблюдения были возобновлены в феврале 1926 г., зеркала были подполированы и все части перемонтированы; полосы в белом свете были найдены менее чем за одну минуту без применения натриевого света.

С 1927 г. интерферометр был смонтирован на территории Кейсовской школы прикладной науки, около 330 футов (100 м) от проспекта Евклида; проезд уличного транспорта и движение городских

автомобилей не мешал наблюдениям. Однако интересно отметить, что звук несовершенных глушителей грузовиков и мотоциклов, которые могли находиться на расстоянии тысячи футов и более, был причиной полного исчезновения полос без малейшей дрожи. За время наблюдений 4 июля 1904 г. выстрелы большого огненного фейерверка, производимые на расстоянии 1200 футов (400 м), вызывали тот же самый эффект. Это происходило вследствие механической вибрации и прохождения звуковых волн через воздух в световой путь интерферометра. В некоторых случаях в наблюдениях, проводимых на Маунт Вилсон, были минуты во время отчетливых сейсмических возмущений, когда на несколько секунд полосы полностью исчезали. После одного такого «землетрясения» или микросейсма оказалось необходимым подрегулировать концевое зеркало на расстояние 20 длин волн. Человек, рубивший деревянный пень в нескольких сотнях футов в стороне, возмущал полосы так же, как и рабочие на высотной дороге, находящейся на расстоянии 3 мили (около 5,5 км); пролет самолета над нами приводил к исчезновению полос.

Наблюдения Морли и Миллера в 1904 г

Интерферометр с базой из стальных ферм был впервые применен Морли и Миллером в продолжительной проверке гипотезы сокращения длин Лоренца–Фицжеральда. Для этой цели зеркала были смонтированы так, что расстояние между ними зависело от длины стержней, сделанных из соснового дерева. На двух концах крестовины *S* и *T* (см. рис. 18.6) находятся две вертикальные чугунные рамы, прикрепленные болтами; каждая рама несет на себе четыре зеркала. Напротив углов каждой из этих рам покоятся четыре сосновых стержня диаметром около 2 см и длиной 425 см. Каждый стержень поддерживается по всей длине латунной трубкой диаметром 2,5 см; каждая пара трубок связана друг с другом в виде вертикальной фермы (см. рис. 18.10). Напротив дальних концов деревянных стержней находятся рамы, которые удерживают другие группы зеркал. Каждая из последних рам свободно подвешена на двух тонких стальных лентах и прочно удерживается напротив сосновых стержней и тем самым против одного из двух фиксированных зеркальных держателей; контакт поддерживается с помощью регулируемых спиральных пружин. Таким образом, расстояние

между противоположными системами зеркал зависит только от длины сосновых стержней, тогда как вся оптическая система закреплена на стальной крестовине.



Рис. 18.10. Интерферометр Морли и Миллера, предназначенный для проверки гипотезы Лоренца–Фицжеральда, 1904 г.

Первые наблюдения с этим аппаратом были проведены в июле 1904 г. и составили 260 об. интерферометра, сведенных в две серии. Процедура была основана на том, что ожидался эффект от комбинированного движения Земли – суточного и годового – вместе с предположительным движением Солнечной системы по направлению к созвездию Геркулеса. На дату, выбранную для наблюдений, приходилось два момента времени в сутки, когда результирующая этого движения – около 33,5 км/с – лежала в плоскости интерферометра: 11 ч. 30 мин. дня и 9.00 ч. вечера. Расчетные азимуты движения должны быть различны для этих двух моментов времени, но скорости и наблюдения в эти два момента времени должны быть одинаковы, поэтому они были скомбинированы таким образом, что ожидаемый азимут для дневного наблюдения был соединен с ожидаемым азимутом для вечернего наблюдения.

Наблюдения для двух моментов времени дали смещение полос, имеющее положительное значение, но они находились почти в противофазе; когда же они были соединены, их полусумма была почти равна нулю. Этот малый результат был противоположен теоретическому и затем при обсуждении оказалось невозможным увязать результаты наблюдений с известным орбитальным движением Земли. Доклад об этих экспериментах, опубликованный в Philosophical Magazine в мае 1905 г.,[60] содержит следующее утверждение: «Если основа подвержена всем тем воздействиям, которые ожидались, то и песчаник подвержен тем же воздействиям в той же степени.

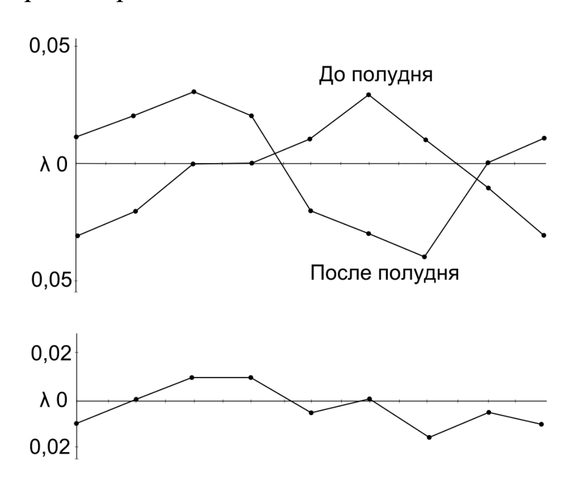


Рис. 18.11. Метод комбинирования наблюдений эфирного ветра в июле 1904 г., теперь признанный ошибочным. По оси абсцисс — угол поворота интерферометра, одно деление равно 1/16 оборота

Можно думать, что этот эксперимент показал, что эфир в капитальной подвальной комнате захватывается ею. Мы считаем поэтому, что аппаратуру нужно поместить на холме, чтобы посмотреть не может ли эффект быть обнаружен там». Две кривые для эфирного ветра, полученные из утренних и вечерних наблюдений в июле 1904 г., показаны на рис. 18.11; они сложены так, как это объяснено выше; нижняя кривая изображает среднее смещение, полученное таким образом, что и является результатом, приведенным в опубликованном отчете по этим экспериментам.

В соответствии с результатами, описанными в настоящей статье ниже, эта процедура 1904 г. оказалась неверной, она была основана на ошибочной гипотезе, исходящей из абсолютного движения

[60] E.W.Morley, D.C.Miller // Phil. Mag. 1905. Vol.9. № 6. P.680; Proc. Am. Acad. Sci. 1905. Vol.41. P.321.

Земли. И утренние, и вечерние наблюдения показали наличие эфирного ветра со скоростью около 7,5 км/с; эти смещения полос приведены на рис. 18.4 и сопоставлены со значением, предсказанным новой гипотезой, исходящей из представления о много большей космической скорости движения Солнечной системы.

Наблюдения Морли и Миллера в 1905 г

В 1905 г. интерферометр был смонтирован во временном строении на склоне Кливлендских Высот, свободном от помех со стороны зданий, на высоте около 285 м. Дом был снабжен стеклянными окнами на уровне интерферометра, чтобы в плоскости дрейфа не находились непрозрачные экраны. Испытания гипотезы сокращения были продолжены; деревянные стержни, которыми определялась длина оптического пути в экспериментах 1904 г., были выброшены, а все зеркальные рамы были прикреплены к стальной основе, так что теперь, наоборот, оптические расстояния определялись сталью. Программа включала также исследования эфирного ветра с аппаратурой на возвышенности и свободной от помех со стороны зданий. Наблюдения были проведены в июле, октябре и ноябре 1905 г., они состояли из 230 об. в трех сериях, показавших определенный положительный эффект, несколько больший, чем был получен ранее, но еще слишком малый, чтобы быть соответственным ожидаемому. Скорость относительного движения Земли и эфира, полученная из наблюдений, проведенных в октябре, составила 8,7 км/с, это показано на рис. 18.4; сравнение с результатами, которые должны ожидаться в соответствии с ныне существующей теорией, показывает почти превосходное согласие. Планировалось проверить различные модификации теорий, но прежде чем они были реализованы, обстоятельства потребовали, чтобы интерферометр был демонтирован. Проф. Морли отошел от активной деятельности, и такой поворот событий вынудил продолжить работы автора настоящей статьи. Показалось желательным перенести дальнейшие наблюдения на возможно большую высоту, но некоторые обстоятельства воспрепятствовали немедленному разворачиванию работы. Появились другие интересы, и хотя надежда на продолжение экспериментов сохранялась, произошла большая задержка.

Появление теории относительности, 1905 г

Теория относительности появилась в то время, когда Эйнштейн опубликовал свою статью «К электродинамике движущихся сред» в ноябре 1905 г. [61]; эта теория была детально развита в последующие годы. Проверка теории относительности, выполненная во время солнечного затмения 1919 г., была широко воспринята как подтверждение теории. Поскольку ***теория относительности постулировала точно нулевой эффект эксперимента по эфирному ветру, чего на самом деле никогда не было*** (разрядка моя. – *В. А.*), автор решился повторить эксперимент, чтобы обеспечить определенный результат. Была подготовлена детальная программа, а фонды, достаточные для того, чтобы покрыть весьма значительные расходы, были очень любезно предоставлены м-ром Экштейном Кейсом из Кливленда.

Эксперименты на Маунт Вилсон, 1921 г

Наблюдения в апреле 1921 г. Стальной интерферометр

Благодаря любезности Института Карнеги в Вашингтоне интерферометр для обнаружения эфирного ветра был установлен на Маунт Вилсон в марте 1921 г. на фундаменте обсерватории Маунт Вилсона на утесе «Смятый холм» («Rock Crusher Knoll») или «Эфирном утесе» («Ether Rock»), как он будет назван позднее, около участка 100-дюймового телескопа на высоте около 1750 м. Бетонный фундамент покоился на открытой скале холма, и четыре бетонные опоры были сформированы для поддержки железного бака со ртутью на подходящей высоте. Это сооружение было заключено в легкий квадратный домик (рис. 18.12) со стороной 20 футов (6 м) и высотой до конька крыши около 12 футов (3,7 м). Стороны дома были огорожены листами из гофрированного железа, исключая высоту от четырех до семи футов над полом (от 1,2 до 2,1 м), на **всех** сторонах были непрерывные «окна» из белого брезента. Брезент был прикреплен к ряду рам так, что окна могли открываться на все стороны на уровне интерферометра на ширину 3

[61] A.Einstein //Ann. d. Phys.. 1905. Vol.17. P.891.

фута (90 см). В южном конце находилась небольшая дверь с железной и брезентовой вставками, чтобы уравнять стороны дома. Неровный настил пола был помещен несколько выше скалы; на этом полу была уложена ровная кольцевая дорожка, по которой наблюдатель мог удобно ходить, следуя за интерферометром когда тот медленно поворачивается вокруг своей оси.

Конструкция дома предусматривала специальные широкие щели на различных стыках в стенах, в полу и под навесом крыши, так что воздух должен был циркулировать совершенно свободно, чтобы обеспечивать выравнивание температуры с внешним воздухом.



Рис. 18.12. Дом с интерферометром на «Эфирных скалах» («Ether Rocks»), Маунт Вилсон

Возможность открыть окна на все стороны значительно это облегчала. Для того чтобы обеспечить достаточную темноту при наблюдении полос в дневное время, использовали занавеси из тонкой черной бумаги, которые помещали над брезентовыми окнами и над такими отверстиями и щелями, которые добавляли слишком много света. В дом был проведен электрический свет и в наличии имелось несколько стационарных и переносных ламп. На каждой стене были размещены обычные и прецизионные термометры, и их показания считывались перед началом и в конце каждой серии наблюдений. На самом интерферометре все время находились барограф и

термограф. К крыше дома был прикреплен анемометр. На всем продолжении наблюдений были также получены метеорологические записи. Эти обычные вещи применялись во всех последующих экспериментах.

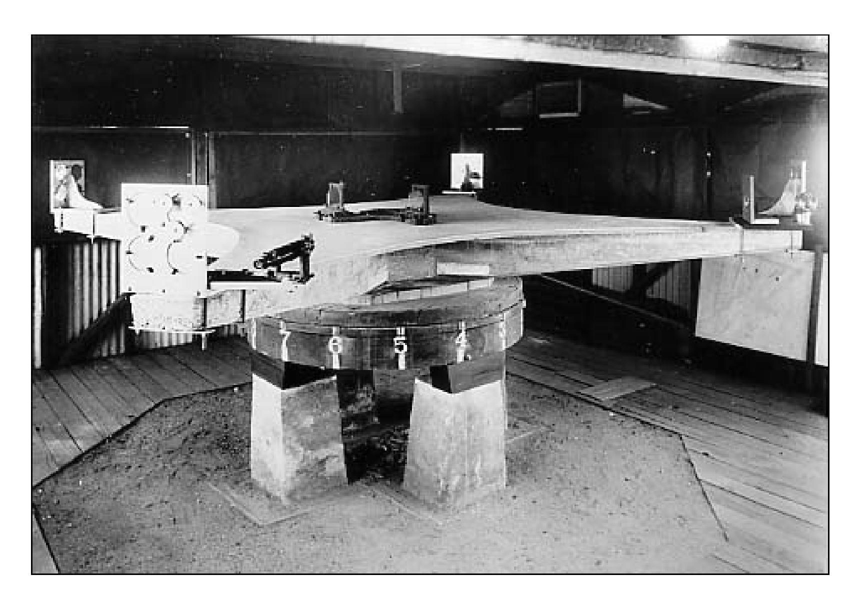


Рис. 18.13. Интерферометр с базой из бетона, 1921 г.

Наблюдения были начаты 8 апреля и продолжались до 21 апреля 1921 г. с помощью аппарата и методов, примененных Морли и Миллером в 1904 и 1905 гг., с определенными модификациями и развитием деталей. Первые наблюдения из шестидесяти семи серий, включающих 350 об., дали положительный эффект, такой, какой был бы вызван реальным эфирным ветром, соответствующим относительному движению Земли и эфира со скоростью около 10 км/с. Прежде чем объявить такой результат, показалось необходимым изучить каждую из возможных причин, которые могли бы произвести смещение полос подобно такому эфирному ветру; среди причин предполагались радиационный нагрев, воздействия центробежных и гироскопических сил, нерегулярные гравитационные эффекты, податливость фундамента, магнитная поляризация и магнитострикция. Чтобы проверить первую причину, металлические части интерферометра были полностью закрыты пробкой толщи-

ной около дюйма; было проведено пятьдесят серий наблюдений, состоящих из 273 об. Наблюдалось периодическое смещение полос, как в первых экспериментах, что показало, что радиационный нагрев не является причиной наблюдаемого эффекта.

Наблюдения в декабре 1921 г. Бетонный интерферометр

Летом 1921 г. стальные фермы интерферометра были демонтированы, и на место – на ртутный плот была установлена база из одного куска бетона (см. рис. 18.13), усиленная латунью. Все металлические части, закрепленные на бетонном основании, были сделаны из алюминия или латуни. Весь аппарат был свободен от магнитных эффектов, а возможные эффекты от тепла сильно уменьшены. В декабре 1921 г. с немагнитным интерферометром было проведено 42 серии наблюдений, состоящих из 422 об. Они показали положительный эффект как влияние эфирного ветра, что полностью соответствовало наблюдениям в апреле 1921 г.

В то время множество вариаций побочных условий было опробовано. Наблюдения были выполнены с центрирующей шпилькой, вставленной в ее гнездо и затем вынутой; с вращением интерферометра по часовой стрелке и против, при быстром вращении (1 об. за 40 с) и медленном вращении (1 об. за 85 с); с тяжелым грузом, добавленным к телескопическому плечу основной рамы и затем к ламповому плечу; с поплавком, чрезвычайно наклоненным благодаря нагрузке сначала на один, а затем на другой квадрант; с записывающим помощником, ходящим кругами в различных квадрантах и останавливающимся в различных частях дома, близко и далеко от аппарата. Результаты наблюдений не зависели от каких-либо из этих обстоятельств.

Было показано, что применение бетонной основы не изменило наблюдаемого для стальной базы эффекта ни по величине, ни по азимуту. Бетонная база была менее, чем стальная, подвержена изменениям размеров при изменениях температуры; но это небольшое преимущество было сбалансировано тем, что температура в бетоне устанавливается медленнее. Учитывая, что бетон был значительно тяжелее, чем стальные части, которые он замещал, он был значительно менее жесток. Испытания показали, что груз в 30 г, помещенный на конец плеча интерферометра, производит смеще-

ние полос на ширину одной полосы, в то время как в 10 раз больший груз требуется для возникновения того же эффекта в стальной базе. Бетонная база была отвергнута, и во всех последующих наблюдениях применяли первоначальную стальную основу.

Лабораторные испытания интерферометра, Кливленд. 1922–1924 гг.

Весь аппарат был возвращен в лабораторию в Кливленд; в течение 1922 и 1923 гг. было сделано множество испытаний в различных условиях, которые можно было контролировать, и со множеством модификаций деталей аппарата. Устройство зеркал и призм было таким, что источник света мог быть помещен вне наблюдательной комнаты (см. рис. 18.14); свет передавался вращающемуся интерферометру вдоль оси вращения.

Дальнейшие попытки усовершенствования зеркал для наблюдения полос неподвижным телескопом на практике ничего не дали; необходимость частого регулирования полос в поле зрения показала непрактичность этого метода. Были проведены эксперименты с фотографической регистрацией положений полос как со стационарным фотоаппаратом, так и с движущейся камерой, находящейся на интерферометре. Оказалось, что даже дуговой источник света не обеспечивает достаточного освещения для проведения удовлетворительных фотографических записей без замедления вращения ап-

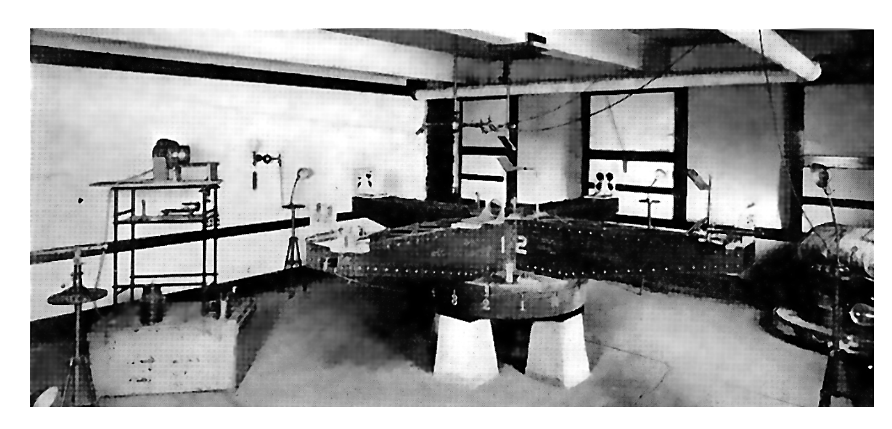


Рис. 18.14. Интерферометр в лаборатории, 1923 г.

парата, большего, чем это допускается нашей методикой всей процедуры, а необходимость частого подрегулирования полос сделала этот метод непригодным. После отказа от использования фотографии на интерферометре был смонтирован астрономический телескоп, имеющий объектив с 13-сантиметровой апертурой и длиной фокусного расстояния 190 см. Объектив был закреплен на стальной базе около полупрозрачного посеребренного диагонального стекла, а окуляр укреплен на конце плеча без обычной трубы для телескопа. При увеличении в пятьдесят раз полосы наблюдались на широкой шкале и с приемлемой освещенностью, так что непосредственный отсчет глазом был вполне удовлетворительным; это устройство применялось во всех последующих наблюдениях.

Были опробованы различные источники света: электрическая дуга и лампы накаливания, ртутная дуга, ацетиленовая лампа, а также солнечный свет. Замена солнечного света и лабораторных источников не изменяла результатов. Окончательно был выбран стационарный источник, помещенный вне комнаты интерферометра или дома, на горе. Это была большая ацетиленовая лампа того типа, который обычно применяют в качестве автомобильных фар. Устройство было использовано в Кливленде в 1924 г. и на Маунт Вилсон в сентябре 1924 и апреле 1925 г. Применение стационарного источника света со светом, вносимым в интерферометр по оси его вращения, потребовал очень тщательной регулировки нескольких последовательно расположенных зеркал, чтобы избежать периодического смещения полос вследствие неаксиальности их выравнивания. Тщательные исследования показали, что лучше всего поместить источник на интерферометре, но вне покрытия и около оси; таким образом, относительное расположение источника и интерферометра сохраняется неизменным. Когда выбрали этот метод, применяли небольшую ацетиленовую лампу – такую, какая была использована в ранних экспериментах. С 9 апреля 1925 г. применялся только этот метод освещения.

Была проведена протяженная серия экспериментов для определения воздействия неравномерности температуры в комнате, где находился интерферометр, и влияние тепла, попадающего на интерферометр. Были использованы некоторые электрические нагреватели с нагревательными спиралями около фокуса вогнутого рефлектора. Неравномерность температуры комнаты является причиной медленного, но постоянного дрейфа системы полос в одну сто-

рону, но она не является причиной периодического смещения. Даже когда два нагревателя были помещены на расстоянии 3 футов (около 1 м) от интерферометра, когда он вращался, и отрегулированы так, чтобы тепло направлялось непосредственно на незакрытую стальную раму, периодический эффект отсутствовал, что было показано измерениями. Когда источники тепла были направлены на воздух оптических путей, закрытых стеклом, периодический эффект мог быть получен только тогда, когда стекло частично было закрыто непрозрачным материалом очень несимметрично, так, как если бы одно плечо интерферометра было полностью покрыто гофрированной бумагой, в то время как другое плечо полностью ничем не защищено. Эти эксперименты доказали, что в условиях реальных наблюдений периодические смещения не могут вызываться температурными эффектами.

Эксперименты в Маунт Вилсон, 1924 г.

Для завершения экспериментов, уже описанных, в июле 1924 г. интерферометр был вновь перенесен в Маунт Вилсон. В 1921 г. аппарат был размещен на самой кромке глубокого каньона; опасались, что воздушные течения вверх и вниз по поверхности каньона смогут производить возмущения, и такие, что несимметричные возмущении горного хребта сами будут неблагоприятными. В августе 1924 г. было выбрано новое место на очень небольшом круглом бугорке, удаленном от каньона. В отличие от конструкции 1921 г. дом для интерферометра (рис. 18.15) был сооружен с ориентацией крыши и расположением двери относительно хребта на 90°.

Дом представлял собой квадрат со стороной около 22 футов (6,7 м) с расположенными по периметру окнами, как и ранее; но вместо гофрированного железа стены были обшиты досками – материалом, менее усваивающим солнечное тепло. Широкие куски брезента были помещены над всем домом и у конца, чтобы защитить дом от прямых лучей солнца, чем сильно облегчалось проведение наблюдений в дневное время. Интерферометр (см. рис. 18.16) имел усовершенствованные крепления зеркал, защищенные от тепла, телескоп с широким полем зрения и другие устройства, которые были опробованы во время лабораторных испытаний в Кливленде в 1923 и 1924 гг.

Эта серия наблюдений в сентябре 1924 г. на Маунт Вилсон была предпринята без каких-либо предположений, но со всеми возможными предосторожностями. Длительные лабораторные испытания включали исследования всех возможных инструментальных и внешних возмущений, чтобы ничто не могло повлиять на эксперимент. Метод наблюдения был так отработан, что к тщательности наблюдений не было никаких претензий. Было установлено, что если какие-либо подозрительные возмущения оказывают влияние на предварительные наблюдения и их удалось устранить, то и далее их влияние будет отсутствовать. Такое заключение должно быть признано допустимым с полной уверенностью, и на самом деле почти всегда так оно и было. С другой стороны, если во время таких наблюдений влияние проявлялось, то с ним приходилось, конечно, считаться и в реальности.



Рис. 18.15. Дом с оборудованием для поиска эфирного ветра («Ether–drift house») на горе Маунт Вилсон, 1924—1926 гг.

4, 5 и 6 сентября 1924 г. была выполнена серия отсчетов, состоящая из 136 об. интерферометра. Все эти наблюдения показали положительное периодическое смещение интерференционных по-

лос, какое и должен производить эфирный ветер, скорость которого составляет около 10 км/с, как и получалось на предварительных испытаниях: Часть из этих наблюдений была проведена при использовании стеклянного ящика, закрывающего сверху оптические пути и с применением обшивки из гофрированной бумаги, которая, как было установлено в Кливлендских экспериментах, исключает влияние радиационного нагрева; при таком покрытии результаты неизменно сохранялись. Эффекты были реальными и систематическими, что исключало какие-либо дальнейшие проблемы.

Несмотря на длительные и непрерывные попытки, оказалось невозможным объяснить наблюдаемые в интерферометре эффекты земными причинами или экспериментальными погрешностями. Были проделаны обширные вычисления с целью примирить наблюдаемые эффекты с известными теориями эфира и предполагаемым движением Земли в пространстве. Наблюдения были повторены в различное время года с тем, чтобы одну за другой проверить различные предлагаемые гипотезы. В конце 1924 г., когда уже казалось, что решение найти невозможно, были проведены полные вычисления для всех часов суток для двадцати четырех моментов времени года применительно к ожидаемому влиянию орбитального движения Земли и видимому движению по направлению к созвездию Геркулеса.

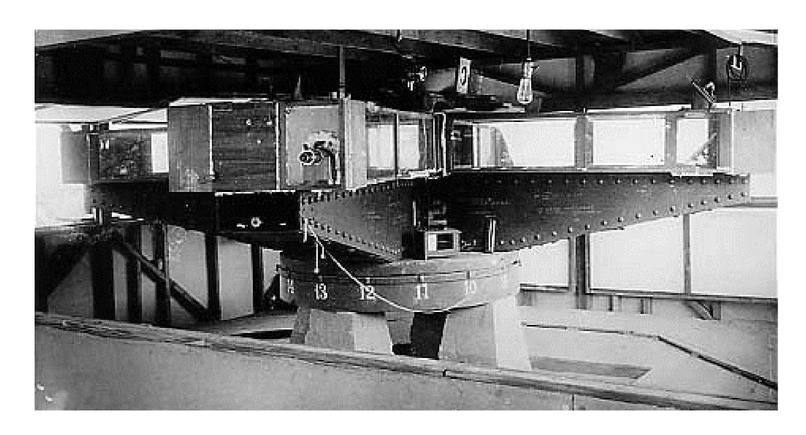


Рис. 18.16. Интерферометр для поиска эфирного ветра, использованный в Маунт Вилсон в 1924—1926 гг.

Они показали: эффект, который нужно было ожидать, был максимальным в апреле; минимум в апреле должен быть в 2,5 раза больше, чем эффект во время сентябрьских наблюдений; максимальный эффект в апреле должен быть в 4,5 раза больше. Кроме того, смещение было максимальным в сентябре при северном направлении все время суток, в то время как в апреле азимут максимума должен поступательно перемещаться вокруг горизонта; максимальное значение достигается в полночь при направлении точно на восток, а затем в полдень при направлении точно на запад. Для подтверждения этих предсказаний были проведены наблюдения на Маунт Вилсон 17 марта и 10 апреля 1925 г. Смещение полос осталось постоянным по величине, но не большим, чем смещения, полученные в предварительных наблюдениях; направление, при котором смещение было максимальным, не проходило все компасные точки, за 6 ч также не менялось направление эффекта на 90°. Вместо этого направление только колебалось назад и вперед в пределах угла около 60°, имея, в общем, северное направление, как и раньше. Это доказывало, что предположения об абсолютном движении Земли, на которых базировались эти вычисления, были неправильными.

Общий анализ проблемы эфирного ветра

Учет различных компонентов движения

Проведенный до 1925 г. эксперимент Майкельсона–Морли всегда применялся для проверки определенной гипотезы. Проверялась только теория абсолютно стационарного эфира, сквозь который Земля движется, не возмущая его никоим образом. Применительно к этой гипотезе эксперимент дал отрицательный результат. Эксперимент был применен лишь для ответа на вопрос в связи с предполагаемыми движениями Земли, а именно, осевым и орбитальным движениями, совместно с движением Солнечной системы по направлению к созвездию Геркулеса со скоростью около 19 км/с. Результаты эксперимента оказались не согласуемыми с предполагаемыми. Внимание было направлено почти полностью на эти составляющие скорости эфирного ветра, и не было предпринято попыток определить апекс иного выявления движения. Эксперимент был приспособлен для проверки гипотезы Лоренца–Фицжеральда, предполагавшей, что размеры тел изменяются при

их движении сквозь эфир: были проведены испытания влияния на эффект магнитострикции, радиационного нагрева и гравитационных деформаций рамы интерферометра. Всегда все эти наблюдения, охватывающие все периоды ряда лет, на различные вопросы отвечали «нет», а имеющийся упорно постоянный и относительно малый эффект не находил объяснения.

Эфирно–ветровой интерферометр является инструментом, обладающим достаточной чувствительностью для определения относительного движения Земли и эфира; таким образом, он способен показать направление и скорость *абсолютного движения* Земли и Солнечной системы в пространстве. Если наблюдения проведены для определения такого абсолютного движения, что же означает результат, независимый от «ожидаемого» результата? Для ответа на этот главный вопрос было решено проделать более обширные наблюдения для некоторых эпох, когда Земля находится на противоположных положениях своей орбиты; это было сделано в апреле, августе и сентябре 1925 г. и в феврале 1926 г.

Можно спросить: почему это не было сделано раньше? Ответ, в частности, таков: действительной целью всегда была проверка конкретных предсказаний так называемой классической теории, и, в частности, совсем не легко создать новую гипотезу при отсутствии к тому прямых показаний. Вероятно, важная причина неудачи заключается в больших трудностях выполнения наблюдений во все времена суток в каждой из эпох. Очень немногие научные эксперименты требуют выполнения такого большого числа продолжительных наблюдений при таких экстремальных трудностях; здесь требуется большее сосредоточение, чем в любых других известных экспериментах. Половину времени, возможно, наблюдения шли непрерывно, прежде чем накопилось достаточно числовых значений для использования, потому что надо было отстроиться от чрезмерного смещения полос из-за изменений температуры или из-за земных или воздушных вибраций. Простое приспособление интерферометра для полос белого света и сохранение его, когда длина светового пути составляет 210 футов и включает в себя 16 различных участков и когда все это происходит на открытом воздухе, требует терпения, а также крепких нервов и твердой руки. Проф. Мор-

ли однажды сказал: «Терпение есть качество, без которого никто не должен начинать наблюдения такого рода».[62]

Абсолютное движение Земли может быть представлено как результат сложения двух независимых составляющих движения. Одна составляющая — орбитальное движение вокруг Солнца, для которого известны как скорость, так и направление. Для целей настоящего исследования скорость орбитального движения принята равной 30 км/с, а направление непрерывно изменяется в течение года и все время является касательным к орбите. Вторая составляющая движения — это космическое движение Солнца и Солнечной системы. Предположительно оно постоянно как по направлению, так и по скорости, но значения как того, так и другого неизвестны. Хорошо известное движение Солнечной системы по направлению к созвездию Геркулеса со скоростью 19 км/с — это только *относительное* движение Солнца по отношению к группе ближайших звезд, а это может и не дать информации о движении группы звезд в целом. Действительно, предварительные эксперименты по эфирному ветру ясно показали, что движение по направлению к Геркулесу не является составляющей абсолютного движения Земли. Вращение Земли вокруг своей оси дает скорость на широте наблюдения меньшую, чем 0,4 км/с, и она пренебрежимо мала по сравнению со скоростью абсолютного движения, но это вращение оказывает слабое влияние на видимое направление движения и является неотъемлемой частью решаемой проблемы. Однако, поскольку направление орбитальной составляющей непрерывно меняется, общее решение затруднительно, но при наблюдении результирующего движения, когда Земля находится на различных участках своей орбиты, найти решение реально. Для этой цели необходимо определить **изменение** скорости и направления эфирного ветра через период в 24 часа в трех или более различных моментах времени года.

Интерферометр непрерывно вращается в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси на широте обсерватории. Поскольку Земля поворачивается вокруг своей оси, то продолжение оси интерферометра может быть рассмотрено как элемент, образующий конус, вершина которого находится в центре Земли. Земля в

[62] «Patience is a possession without which no one is likely to begin observation of this kind.» (прим. перев.)

своем орбитальном движении держит этот конус вокруг орбиты, и ось конуса и земная ось сохраняют свое положение в пространстве. В то же время эта система с вращениями вокруг трех различных осей перемещается в пространстве неизвестным образом. Предполагается далее, что эфирно–ветровой интерферометр будет выделять *только* одну составляющую сложной комбинации перемещения и вращения, которая в каждое мгновение лежит в оптической плоскости интерферометра; это даст скорость и направление этой составляющей.

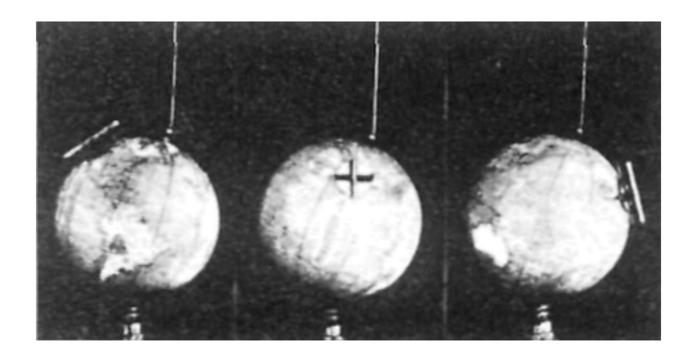


Рис. 18.17. Модели, иллюстрирующие суточную вариацию скорости и направления эфирного ветра.

На рис. 18.17 показан глобус с моделью, изображающей интерферометр, размещенный в точке, соответствующей расположению Маунт Вилсон. Проволока, торчащая из полюса глобуса, показывает направление предполагаемого результирующего абсолютного движения. Если Земля находится в положении, показанном в левой части рисунка, на плоскости интерферометра проекция скорости движения, изображенная проволокой, пропущенной через северную и южную точки, меньше, чем полная скорость движения. Когда Земля повернулась вокруг своей оси в положение, показанное в средней части рисунка, проекция абсолютного движения в плоскости интерферометра направлена на северо-запад; если интерферометр поворачивается вокруг своей оси, телескоп будет отмечать максимальное значение составляющей, когда он направлен на северо-запад. Когда Земля повернулась в положение, показанное справа, проекция составляющей движения снова будет направлена с севера на юг и будет иметь максимальное значение, немного

меньшее полного. Таким образом, имеется суточная вариация в наблюдаемом азимуте эфирного ветра. Очевидно, что угол, который образует абсолютное движение с плоскостью интерферометра, изменяется в течение суток, так как интерферометр вращается вокруг оси, описывающей конус На иллюстрации абсолютное движение наиболее близко совпадает с плоскостью интерферометра в правой части фигуры, которая соответствует максимуму наблюдаемого эффекта; в левой части фигуры движение наиболее близко к перпендикуляру к плоскости интерферометра, и эффект минимален. Отсюда следует, что имеются суточные вариации величины эффекта, и это совершенно не зависит от вариации азимута.

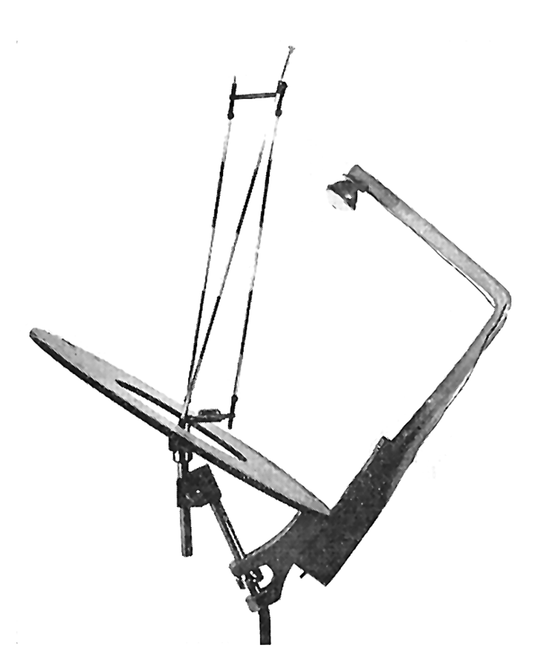


Рис. 18.18. Модель для изучения составляющих скорости эфирного ветра

Модель, показанная на рис. 18.18, была создана для облегчения изучения астрономического аспекта скорости эфирного ветра. Широкий круглый диск, изображающий плоскость интерферометра, может вращаться вокруг наклонной полюсной оси для установления этой плоскости во всех возможных суточных положениях, соответствующих расположению Маунт Вилсон.

В центре диска смонтирован параллелограмм, стороны которого могут быть подобраны так, чтобы изображать предполагаемые скорости двух составляющих абсолютного движения; эти направления могут устанавливаться по желанию, а соответствующая результирующая будет воспроизведена. Небольшая электрическая лампа укреплена так, что когда интерферометр поворачивается во-

круг полюсной оси, то, поскольку параллелограмм остается неподвижным, лампа отбрасывает тень результирующей на плоскость интерферометра, показывая, как изменится азимут ветра в течение суток. Угол, который результирующая образует с плоскостью, можно наблюдать, и таким образом можно определить изменение скорости ветра для предполагавшегося движения. Была выбрана вероятная скорость космической составляющей движения, одиночная проволока, изображающая результирующую для некоторой эпохи, заменена параллелограммом, и были изучены суточные изменения в азимуте и скорости дрейфа. На трех видах модели (рис. 18.19) показано, как для предполагаемого движения азимут откло-

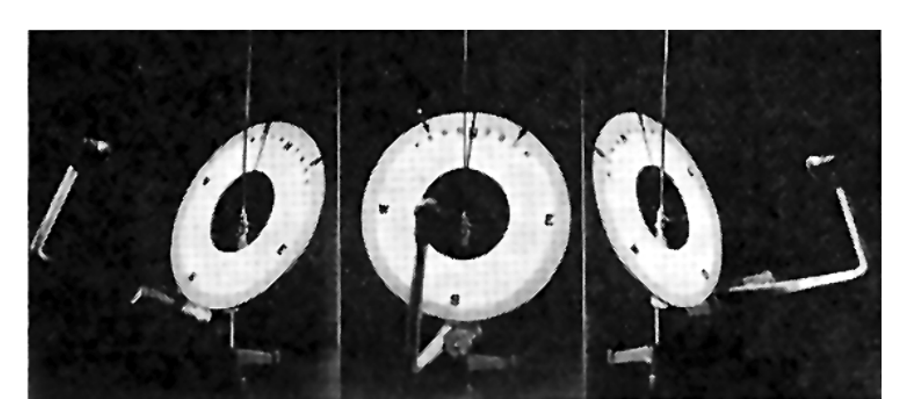


Рис. 18.19. Модель, иллюстрирующая суточную вариацию азимута эфирного ветра

няется к северо-западу и далее к востоку.

Из этой модели видно, что наблюдаемая скорость эфирного ветра должна быть очень разной для различных результирующих движении и для разных моментов времени года и что она должна меняться в широких пределах для различных широт. Условия, приблизительно соответствующие результатам, необходимо здесь рассмотреть.

Решение проблемы абсолютного движения Солнечной системы

Точка на небосводе, к которой направлено абсолютное движение Земли, названа апексом этого движения. Координаты этой точ-

ки определены как прямое восхождение и склонение, так же, как звезд, и формулы практической астрономии непосредственно пригодны для их определения на основе интерферометрических наблюдений. Теоретическое рассмотрение определения апекса движения Земли дано в статье проф. Дж. Дж. Нассау и проф. П. М. Морзе, которая опубликована в Astrophysical Journal в марте 1927 г. [63].

Зная широту обсерватории ϕ и звездное время наблюдения θ, можно получить два независимых определения прямого восхождения α и склонения δ апекса земного абсолютного движения, одно определяется из наблюдаемой скорости V а второе — из азимута A эффекта эфирного ветра. Влияние эфирного ветра, будучи эффектом второго порядка, имеет период в каждой половине оборота аппарата, отсюда следует, что если основное смешение полос наблюдалось тогда, когда направление телескопа приняло некоторое значение, то точно такой же эффект будет получен, когда интерферометр повернется на 180° и направление телескопа станет противоположным. Интерферометрические наблюдения определяют линию, по которой происходит движение, но они не отличают положительного направления движения по этой линии от отрицательного. Выбор между знаком плюс по направлению к северу и знаком минус по направлению к югу должен быть определен из совмещения результата, когда это движение соединено с известным орбитальным движением Земли. Для упрощения представления формул они будут даны для апекса, имеющего северное склонение, и для обсерватории, помещенной в северном полушарии. Если окончательное решение потребует движения к югу, то новый апекс будет диаметрально противоположен первому определенному апексу, его прямое восхождение будет прямым восхождением первого апекса минус 12 часов и его склонение будет иметь то же самое числовое значение, что и для первого апекса, но со знаком минус. Для обсерватории, размещенной в южном полушарии, должны существовать определенные систематические отличия в формулах, которые нет необходимости излагать здесь.

---

[63] J.J.Nassau, P.M.Morse // Astrophys.J. 1927. Vol.65. P.73.

Апекс абсолютного движения, определенный из направления и скорости эфирного ветра

В статье Нассау и Морзе показано, что, как это и вытекает с очевидностью из модели (см. рис. 18.17), звездное время полностью определяет прямое восхождение апекса, когда составляющая движения, лежащая в плоскости интерферометра, минимальна $(\theta_{v=min})$; тогда

$$\alpha = \theta_{v=min}.$$

Очевидно, что составляющая движения в плоскости интерферометра

$$v = V \sin z,$$

где V — скорость абсолютного движения, а z — зенитное расстояние апекса.

Если $\delta \geq 90^\circ - \phi$, то, как можно видеть из модели, значение V минимально тогда, когда $z = \delta - \phi$, а максимально тогда, когда $z = 180^\circ - (\delta + \phi)$ и во времени максимум и минимум значений отличаются на 12 ч звездного времени. Если наблюдения занимают полные звездные сутки, максимум и минимум эффекта всегда могут быть получены.

Положим, что R есть отношение минимальной наблюдаемой скорости к максимальной, тогда

$$R = \frac{v_{min}}{v_{max}} = \frac{\sin(\delta - \phi)}{\sin(\delta + \phi)},$$

откуда склонение апекса абсолютного движения определится выражением

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1+R}{1-R} \operatorname{tg} \phi.$$

Если $\delta < 90^\circ - \phi$, линия движения будет совпадать с плоскостью интерферометра дважды в каждые сутки, и максимальное значение наблюдаемой скорости V_{max} будет равно действительной

скорости V. Поскольку скорость будет иметь минимум тогда, когда апекс пересекается меридианом обсерватории, его зенитное расстояние составит $\phi-\delta$, и тогда наблюдаемая скорость будет равна скорости V, умноженной на синус угла $\phi-\delta$. Следовательно,

$$v_{min}/v_{max} = V\sin(\phi-\delta)/V = \sin(\phi-\delta)$$

и $\delta = \phi \pm \sin^{-1}(v_{min}/v_{max})$.

Если апекс находится ниже горизонта в течение звездных суток наблюдаемая скорость будет иметь два максимума, а также два минимума. Максимум будет тогда, когда апекс пересечет горизонт обсерватории, а минимум тогда, когда он пересечет меридиан. Максимумы сойдутся при $\delta = 90^\circ - \phi$.

Апекс абсолютного движения, определенный из азимута направления эфирного ветра

Для $\delta \geq \phi$. Если движение Земли проектировать на плоскость интерферометра (см. рис. 18.17), то станет очевидным, что вращение Земли вокруг оси является причиной колебаний азимута апекса, пересекающего вперед и назад меридиан дважды в каждые звездные сутки с интервалом 12 ч. Звездное время θ_{E-W}, когда апекс пересекает меридиан с востока на запад [64], есть прямое восхождение апекса, так что

$$\alpha = \theta_{E-W}.$$

Время θ_{W-E}, когда апекс пересекает меридиан с запада на восток, также определено, так что

$$\alpha = \frac{1}{2}(\theta_{E-W} + \theta_{W-E}) + 6 \text{ часов.}$$

[64] Обозначение θ_{E-W} содержит сокращения **E** (от *англ.* East — Восток) и **W** (от *англ.* West — Запад) *(прим. перев.)*.

Поскольку азимут направления ветра в интерферометре соответствует азимуту апекса, то, когда апекс пересекает меридиан, ветер создает максимальное смещение полос сначала к востоку, а затем к западу в каждые звездные сутки. Когда $\delta \geq \phi$, этот максимум азимута может рассматриваться как азимут около полярной звезды на ее восточной или западной элонгации. В учебниках сферической и практической астрономии показано, что азимут элонгации простым образом зависит от склонения звезды и широты обсерватории. Отношение таково:

$$\sin A_{max} = \cos\delta / \cos\phi,$$

соответственно

$$\cos\delta = \sin A_{max} \cos\phi.$$

Когда $\delta \leq \phi$, азимут апекса колеблется вокруг горизонта в течение звездных суток. Если θ_E есть звездное время, когда азимут приходится точно на восток, то

$$\mathrm{tg}\,\delta = \mathrm{tg}\,\phi \cos(\theta_E - \alpha).$$

При условии, что орбитальная скорость Земли известна, этих формул в основном достаточно для определения апекса и скорости абсолютного движения Земли и эфира с помощью интерферометра. Эти наблюдения, давая просто азимут максимума смещения интерференционных полос при вращении аппарата вокруг оси, вместе с азимутом, при котором возникает максимальное смещение, должны соответственно покрывать период одних звездных суток для каждой эпохи. Полная серия таких наблюдений дает одно определение скорости абсолютного движения и два независимых определения апекса движения.

Определение направления абсолютного движения Земли зависит только от направления, в котором находится телескоп, когда наблюдаемое смещение полос максимально; причем это не зависит от величины самого смещения полос, а также от регулировки полос в части их ширины или отсчета нуля. Действительная скорость земного движения определена амплитудой периодического смещения, которое пропорционально квадрату относительной скорости Земли и эфира и длине светового пути в интерферометре. Два эф-

фекта — скорость и азимут наблюдаемого относительного движения совершенно независимы один от другого.

Гармонический анализ смещения интерференционных полос

Списки действительных интерферометрических наблюдений маунт–вилсоновского цикла состоят из 316 страниц отсчетов положений интерференционных полос в форме, приведенной на рис. 18.8. Каждая серия содержит отсчеты на 20 и более оборотах интерферометра. 20 или более отсчетов для каждого из 16 наблюдаемых азимутов усредняются; в средних значениях скомпенсирован медленный линейный дрейф всей интерференционной системы за период наблюдения, как это объяснялось ранее применительно к рис. 18.9. Затем для целей гармонического анализа средние значения отсчетов для каждой серии наносятся на координатную бумагу в большом масштабе. Части I, II, III и IV на рис. 18.21 показывают отсчеты для четырех последовательных серий наблюдений, проведенных 2 апреля 1925 г.

Нанесенные точки соответствуют положениям центральной черной линии интерференционной картины по отношению к начальной точке отсчета после того, как интерферометр сделал один полный оборот. Единица масштаба ординат – 1/100 ширины полосы, в то время как абсцисса соответствует азимутальному интервалу 22,5°, считая от северного направления и далее вокруг горизонта по часовой стрелке. Графики подобного типа выполнены для каждой серии наблюдений. Эти графики «кривых» для действительных наблюдений содержат не только полупериодный эффект эфирного ветра второго порядка, но также полнопериодный эффект первого порядка и некоторые возможные эффекты высших порядков, включая все инструментальные и случайные погрешности наблюдений.

Настоящие исследования эфирного ветра основаны всецело на эффекте второго порядка, который периодичен в каждой половине оборота интерферометра. Этот эффект второго порядка полностью представлен вторым членом гармонического ряда Фурье данной кривой.

Чтобы точно оценить влияние эфирного ветра, каждая кривая наблюдений была подвергнута гармоническому анализу с помо-

щью гармонического анализатора Хенрика по первым пяти членам ряда Фурье. Эффект первого порядка в наблюдении показан основной составляющей, которая проведена под соответствующей кривой и наблюдений на рис. 18.21; эффект второго порядка показан кривой, расположенной ниже; каждая четвертая кривая в каждом примере отражает сумму третьей, четвертой и пятой составляющих гармоник. Очевидно, что полученные кривые содержат очень малый след других эффектов любых высших гармоник. Остаточная кривая имеет очень малую амплитуду, и очевиден тот факт, что случайные и беспорядочные погрешности малы. Гармонический анализ и синтез являются методами, которые полностью описаны автором в другой работе [65].

Гармонический анализ наблюдений дает непосредственно амплитуду в сотых долях ширины полос и фазу, отсчитанную от северного направления для второй гармоники кривой, которой соответствует влияние скорости эфирного ветра. Наблюдаемая амплитуда движения полос еще раз пересчитывается в эквивалентную скорость относительного движения Земли и эфира, наблюдаемого в плоскости интерферометра, посредством некоторого развития элементарной теории эксперимента:

$$d = 2D(v^2/c^2) \quad \text{и} \quad v = (dc^2/2D)^{1/2}$$

где d — наблюдаемое полупериодическое смещение полос; D — длина плеча интерферометра, то есть расстояние от полупрозрачного посеребренного зеркала с добавлением умножающих отражений до концевого зеркала № 8, оба выражены в числах эффективных длин волн света, примененного для интерференции; v — относительная скорость Земли и эфира в плоскости интерферометра, км/с; c — скорость света, км/с. Номограмма на рис. 18.20 содержит параболическую кривую, которая показывает значение относительной скорости, соответствующей смещению полос, наблюдаемому в интерферометре, примененном в этом эксперименте.

[65] D.C.Miller. The Science of Musical Sounds. 1916. P.123; J.Frank.Inst. 1916. Vol. 181. P.51; 1916. Vol.182. P.283.

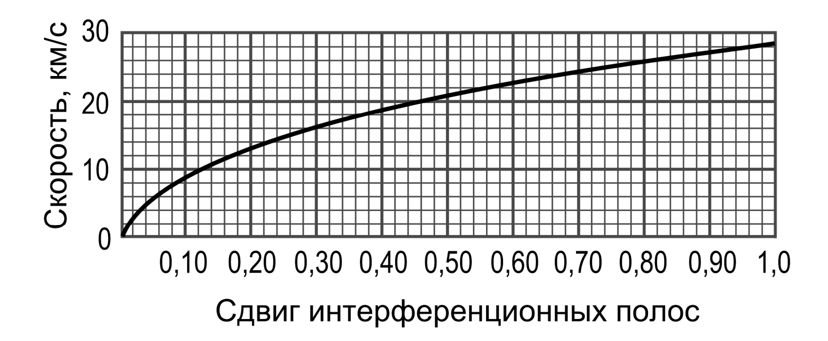


Рис. 18.20. Отношение смещения полос к скорости эфирного ветра для $2D = 112000000\lambda$ и λ=5700 Å.

Это выполнено для света с длиной волны $\lambda = 5700A$ и для полной длины светового пути $2D = 112.000.000\lambda$. Азимут эфирного ветра находится в направлении, в которое указывает телескоп, когда полупериодическое смещение положительно и максимально. Этот азимут A получается из фазы P второй гармонической составляющей наблюдений, как дает анализатор, из следующего соотношения:

$$A = (1/2)(P - 90^\circ)$$

Направление, полученное таким образом, соответствует вершине кривой, изображающей вторую гармонику, выраженную в градусах, измеряемых от северного направления; ось x кривой, показанной на рис. 18.21, начинается от северного направления и распространяется на один оборот в 360° через восток, юг и запад и снова на север. На рисунке в графике второй составляющей показано (и это всегда имеет значение), что в пределах изменения азимута на 360° имеются *два* максимума во второй составляющей, соответствующих двум азимутам, расположенным на расстоянии в 180° друг от друга, между которыми для интерферометра нет разницы. Разброс азимутальных отсчетов много меньше, чем 90°, но непрерывная последовательность наблюдений не устраняет двусмысленности в знаке направления линии движения. Скорость и направление орбитального движения Земли известны; направление изменяется на противоположное через интервал в шесть месяцев, его сочетание с постоянным космическим движением дает резуль-

тирующее движение, которое различно для двух эпох. Сочетание орбитального и космического движений приводит к результатам, согласующимся с наблюдаемыми эффектами, но только тогда, когда космическое движение дано с правильным знаком и, таким образом, двусмысленность устраняется.

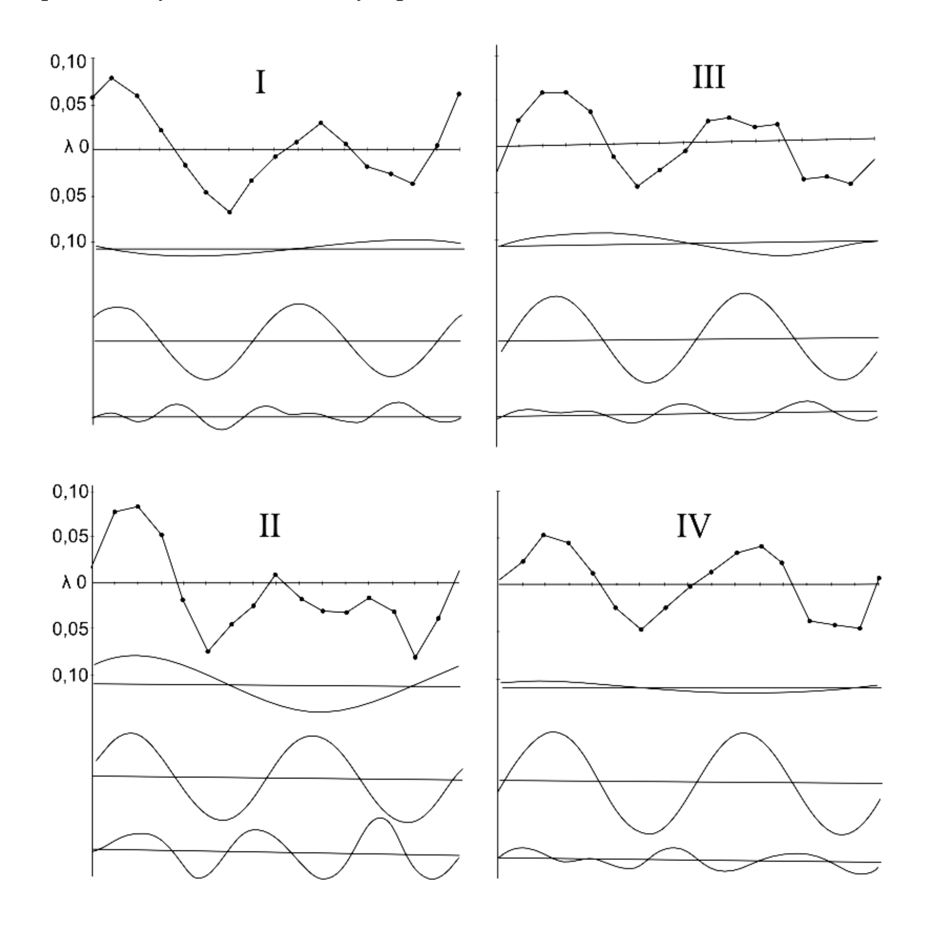


Рис. 18.21. Гармонический анализ наблюдений эфирного ветра. По оси абсцисс — угол поворота интерферометра, одно деление равно 1/16 оборота.

Наблюдения эфирного ветра, выполненные на Маунт Вилсон в 1925—1926 гг.

Общая программа наблюдений

Наблюдения эфирного ветра, выполненные автором до 1925 г., состояли из 25 серий, содержащих 995 оборотов и проведенных в содружестве с проф. Морли в 1902–1905 гг., 86 серий из 1146 об., проведенных в Кливленде в 1922–1924 гг. и 166 серий из 1181 об., проведенных на Маунт Вилсон в 1921 и 1924 гг. Эти эксперименты показали с полной очевидностью реальность эффекта, который был систематическим, но малым и неопределенным по азимуту. Программа была ориентирована на обширную серию наблюдений для решения общей проблемы эфирного ветра без каких-либо предположительных эффектов. Чтобы подтвердить основное заключение, необходимо иметь наблюдения, охватывающие 24 часа суток, чтобы выявить влияние вращения Земли вокруг своей оси и в различные времена года, а также влияние орбитального движения Земли. Поскольку орбитальное движение всегда направлено по касательной к орбите, в различные сезоны оно будет иметь различное направление, производя в результирующей абсолютного движения характерные для каждой эпохи отличия. Такие наблюдения были выполнены на Маунт Вилсон для четырех эпох – 1 апреля, 1 августа, 15 сентября 1925 г. и 8 февраля 1926 г.; число серий для этих эпох составляло 36, 96, 83 и 101 соответственно, дав всего 6402 оборота. Модель, показанная на рис. 18.23, изображает относительное положение Земли на ее орбите для этих четырех эпох. Результаты, полученные из полного анализа обработки этих наблюдений, будут рассмотрены подробно.

Можно заметить, что эти наблюдения включали в себя свыше 200.000 отсчетов положений интерференционных полос, требуя при этом, чтобы наблюдатель ходил по небольшому кругу в темноте, проходя дистанцию около 160 миль и делая при этом отсчеты. Более чем половина этих отсчетов были сделаны на Маунт Вилсон в наблюдениях 1925 и 1926 гг. Последние наблюдения дали 12.800 отдельных измерений скорости эфирного ветра и 25.600 отдельных определений апекса движения.

Данные наблюдений

Описанным способом были получены из каждой серии наблюдений, соответствующих заданному звездному времени, во-первых, скорость относительного движения Земли и эфира как проекций скорости на плоскость интерферометра, выраженной в километрах в секунду; во-вторых, измеренный от северного направления азимут линии, отображающей это проектируемое на плоскость интерферометра движение. Эти наблюдаемые величины для каждой из четырех эпох показаны графически на четырех графиках рис. 18.22. Каждая точка на верхней кривой каждого графика отображает скорость, а непосредственно под ней нижняя кривая соответствует азимуту одиночного наблюдения. Решение базируется на усредненной кривой наблюдений; поскольку имеется значительный разброс среди отдельных наблюдений, то, чтобы уничтожить все смещения, строится усредненная кривая с помощью простого усреднения 20 эквивалентных значений в каждой точке кривой. Наблюдений в апреле, в первой серии из данных, не было достаточно для двух времен суток, и эти кривые располагают лишь небольшим числом точек. Средние точки отмечены большими кружками, восемь толстых кривых линий, одна — скорости и одна — азимута для каждой из четырех эпох, составляют материал для дальнейшего обсуждения.

Таким образом, имеются четыре кривые, показывающие среднюю наблюдаемую скорость эфирного ветра для звездных суток четырех моментов времени года; каждая из этих кривых позволяет определить скорость относительного движения Земли и эфира, а также прямое восхождение и склонение апекса земного абсолютного движения, характерное для каждой эпохи. Имеется четыре кривые, показывающие средний азимут скорости эфирного ветра на всем протяжении звездных суток для четырех моментов времени года; каждая из этих кривых определяет прямое восхождение и склонение апекса абсолютного движения Земли. Всего имеется четыре определения скорости движения, спроектированного на плоскость интерферометра, по одной для каждого момента времени, и восемь независимых определений апекса движения, по два для каждого момента времени.

Эти наблюдения должны быть обработаны в соответствии с принципами, объясненными в предыдущих разделах, чтобы опре-

делить положения апекса результирующего движения для четырех моментов времени. Из каждой кривой для скорости получаются числовые значения максимальной и минимальной ординат и звездное время минимальной ординаты; из каждой кривой для азимута скорости должно быть получено максимальное колебание азимута и два звездных времени, когда кривая пересекает свою ось.

Обработка наблюдений учитывает широту расположения интерферометра. Наблюдения, описанные здесь, были сделаны в Обсерватории Маунт Вилсон на широте +34°13'.

Совершенно очевидно из характера кривых наблюдения, рис.18.22, что склонение апекса **больше**, чем дополнение (до 90°) широты обсерватории, это видно из того факта, что отклонение азимутальной кривой от ее оси всегда меньше, чем 90°, а также из того, что амплитуда кривой показывает только единственный максимум и единственный минимум. Это определяет выбор альтернативных формул вычислений. Изучение положений модели приводит к тому же выводу. Кроме того, ранняя обработка этих наблюдений включала рассмотрение апекса со склонением меньшим, чем широтное дополнение, это всегда приводило к несовместимым результатам. Таким образом, в астрономическом отношении апекс должен быть околополярным.

Можно заместить, что как направление, так и скорость эфирного ветра должны изменяться от одного момента времени к другому, потому что его влияние является результатом постоянного космического движения Земли и ее изменяющегося орбитального движения, а эти изменения должны быть систематическими и характеризовать каждый момент времени, как будет объяснено далее.

Окончательные результаты наблюдений

В табл. 1 и 2 даны прямые восхождения и склонения апексов наблюдаемого движения Земли для четырех эпох и для двух альтернативных направлений. В таблицах $\alpha_{\text{амп}}$ и $\delta_{\text{амп}}$ — значения, полученные из амплитудных кривых; $\alpha_{\text{аз}}$ и $\delta_{\text{аз}}$ получены из азимутальных кривых.

Кривые наблюдения (см. рис. 18.22) дают непосредственно значения максимума скорости относительного движения Земли и эфира, наблюдаемой в плоскости интерферометра для четырех эпох; эти скорости приведены в табл. 3. Табл. 3 также показывает

смещения интерференционных полос в единицах длин волн, которые были получены в интерферометре, использованном для эксперимента при наблюдении эфирного ветра.

Эти три таблицы содержат все данные, полученные в 316 сериях наблюдений, выполненных на Маунт Вилсон в 1925 и 1926 гг. для решения проблемы эфирного ветра.

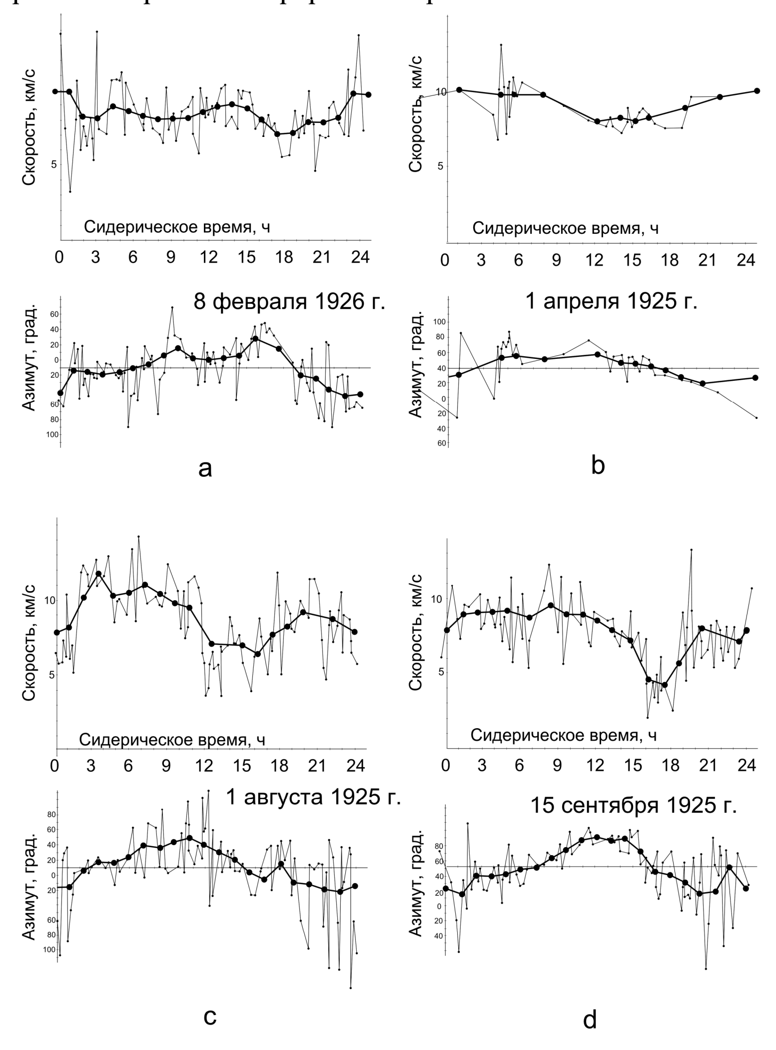


Рис. 18.22. Одиночные наблюдения и усредненные кривые эфирного ветра на Маунт Вилсон в 1925–1926 гг.

Таблица 1. **Прямое восхождение апекса**

Эпоха	$\alpha_{амп}$	$\alpha_{аз}$	Среднее	
			Север	Юг
8 февраля	18 ч. 00 мин.	18 ч. 00 мин.	18 ч. 00 мин.	6 ч. 00 мин.
1 апреля	15:15	16:10	15:42	03:42
1 августа	15:45	16:10	15:57	03:57
15 сентября	17:05	17:00	17:03	05:05

Таблица 2. **Склонение апекса**

Эпоха	$\delta_{амп}$	$\delta_{аз}$	Среднее
8 февраля	±79°35'	±75°19'	±77°27'
1 апреля	±78°25'	±75°12'	±76°48'
1 августа	±67°30'	±62°4'	±64°47'
15 сентября	±61°40'	±62°28'	±62°4'

Таблица 3. **Скорости и смещения полос**

Эпоха	Скорость, км/с	Смещение (λ = 5700Å)
8 февраля	9,3	0,104 λ
1 апреля	10,1	0,123 λ
1 августа	11,2	0,152 λ
15 сентября	9,6	0,110 λ

В этой работе вычисления выполнены непосредственно на основе реальных наблюдений без каких бы то ни было предположений о полученных результатах. Все первичные наблюдения включены в расчеты без исключений и без приписывания весовых коэффициентов. При использовании наблюдаемых величин не было применено никаких коррекций. Процедуры были лишь те, которые применяли в первых исследованиях и применялись до сих пор для неопознанных эффектов. Настоящие результаты наглядно проиллюстрировали корректность этого метода и, как теперь представляется, сорок шесть лет опоздания в установлении влияния орбитального движения Земли в наблюдениях эфирного ветра произошло вследствие ошибок в подтверждении определенных предсказаний так называемых классических теорий и воздействий традиционных точек зрения.

Абсолютное движение Солнечной системы и определение орбитального движения Земли

Отказ от северного апекса движения Солнца

Как уже объяснялось, интерферометр определяет линию, в которой происходит движение Земли по отношению к эфиру, но не определяет направления движения по этой линии. Результаты наблюдений, данные в табл. 1 и 2, указывают как на то, что апекс размещен около северного полюса, так и на диаметрально противоположное направление около южного полюса эклиптики. Выбор между двумя возможными направлениями движения определен постоянством результатов, удовлетворяющих первичным наблюдениям, взятых как целое и в связи с известными явлениями. Изучение действительных движений и движений по отношению к видимым звездам в нашем скоплении показало, что Солнечная система движется по отношению к ближайшим звездам вперед к апексу, расположенному в созвездии Геркулеса около 42° от северного направления двух апексов, указанных интерферометрическими наблюдениями; скорость этого движения составляет около 19 км/с. Это обстоятельство как будто подкрепляет представление о северном направлении движения, и северный апекс был выбран для дальнейшего изучения проблемы.

Кроме комплекта наблюдений для трех эпох на Маунт Вилсон, соответствующих 1 апреля, 1 августа и 15 сентября 1925 г., было проведено изучение результатов для уточнения предположения о северном апексе. Для определения скорости космического движения были проверены различные варианты решений с помощью параллелограммного аппарата (см. рис. 18.18) с окончательной обработкой методом наименьших квадратов. Эффекты, которые должны были характеризовать различные эпохи вследствие изменения направления орбитального движения, не могли быть найдены из соответствующих кривых данных наблюдений, показывая, что орбитальная составляющая, вероятно, много меньше космической. Кривые для трех эпох были просто усреднены, и было установлено, что когда они изображены в отсчете по **местному гражданскому времени**, они имеют такие фазовые соотношения, что почти полностью нейтрализуют друг друга; средний эффект для трех эпох, изображенных таким образом, очень мал и не систематичен. Когда

же кривые наблюдений были выполнены графически по отношению к **звездному времени**, выявилось поразительное соответствие их принципиальных характеристик, не только среди трех кривых для азимутов, но также и для амплитуд; кроме того, что производило большое впечатление, было согласование двух серий кривых, что явно говорило о наличии для этого общей причины. Усреднение кривых по звездному времени убедительно показало, что наблюдаемый эффект зависит от звездного времени и не зависит ни от суточных, ни от сезонных изменений температуры и других возмущающих причин и что это космический феномен. Результаты этого изучения были представлены как доклад президенту Американского физического общества на встрече в Канзас-Сити 29 декабря 1925 г. [66]. Заключение гласило, что имеется систематическое положительное влияние эфирного ветра, соответствующее постоянному относительному движению Земли и эфира на Маунт Вилсон имеющее видимую скорость 10 км/с; что вариации в направлении и скорости найденного движения точно такие, какие должны быть произведены постоянным движением Солнечной системы в пространстве вперед к апексу около северного полюса эклиптики, имеющего прямое восхождение 17,5 ч. и склонение +65°. По гипотетической эфирной концепции Стокса эфир частично захватывается материей, движущейся сквозь него; это предполагает, что наблюдаемая скорость 10 км/с может являться лишь частью полной абсолютной скорости движения; если же орбитальная скорость Земли, составляющая 30 км/с, тоже уменьшена пропорционально, то в наблюдаемой скорости эта составляющая должна быть столь мала, что уже не воспринимается; поэтому можно полагать, что реальная скорость космического движения составляет двести километров в секунду или даже больше. Было также отмечено, что по неизвестным причинам все азимуты оказались смещенными к западу.[67]

В четырех сериях наблюдений, которые были выполнены на Маунт Вилсон и соответствовали дате 8 февраля, были перепроверены все наблюдения четырех моментов времени, проведенные

[66] D.C.Miller //Science. 1926. Vol.63. P.433.

[67] Предположительно, это влияние кориолисовой силы, воздействующей на поток эфира, вследствие его движения относительно атмосферы и вращения Земли. — *В. А.*

ранее, исходя из предположения о расположении апекса около северного полюса эклиптики, поскольку они не содержали эффекта орбитального движения Земли, которое не могло быть найдено; поэтому для определения космического движения Солнечной системы результаты четырех серий наблюдений были просто усреднены. Итоги такого детального исследования были доложены в Пасадене 4 и 5 февраля 1927 г. на конференции по эфирному ветру [68]; было показано, что существует постоянное космическое движение с теми же параметрами, что были доложены в Канзас-Сити для апекса, имеющего прямое восхождение в 17 ч. и склонение +68°. В то же время стало понятно, что процесс усреднения наблюдений четырех дат уничтожает орбитальный эффект, поскольку два положения Земли на орбите почти диаметрально противоположны друг другу, как показано на рис. 18.24. На конференции в Пасадене было заявлено, что орбитальный эффект, если он существует, весьма мал, и хотя исследования оказались неудачными с точки зрения демонстрации этого воздействия, автор все же уверен, что он может быть найден и что дальнейшие исследования и наблюдения должны преследовать эту же цель. Можно добавить, что адекватные анализ и вычисления наблюдений для четырех эпох сверх обычных плановых исследований требуют длительного времени для проверки вычислений, возможно, целого года. Это и другие соображения, такие, как вытекающие из дальнейших наблюдений в Кливленде в 1927 и 1929 гг., задержали переосмысление наблюдений на Маунт Вилсон до осени 1932 года.

Как объяснено в последующем разделе, новое изучение проблемы основано на предположении о движении Солнечной системы в южном направлении, что дает согласующиеся результаты как для космического движения Солнечной системы, так и для орбитального движения Земли. По этой причине северный апекс солнечного движения был отвергнут и предпочтен южный апекс.

---

[68] D.C.Miller //Astrophys. J. 1928; Vol.68. P.341; Contrib. Mt. Wilson Obs., 1928. № 373. P. 12.

Выбор южного апекса движения Солнца

Начиная с осени 1932 г. была переосмыслена проблема эфирного ветра, а также закончен пересчет результатов наблюдении, выполненных на Маунт Вилсон в 1925 и 1926 гг. Использование

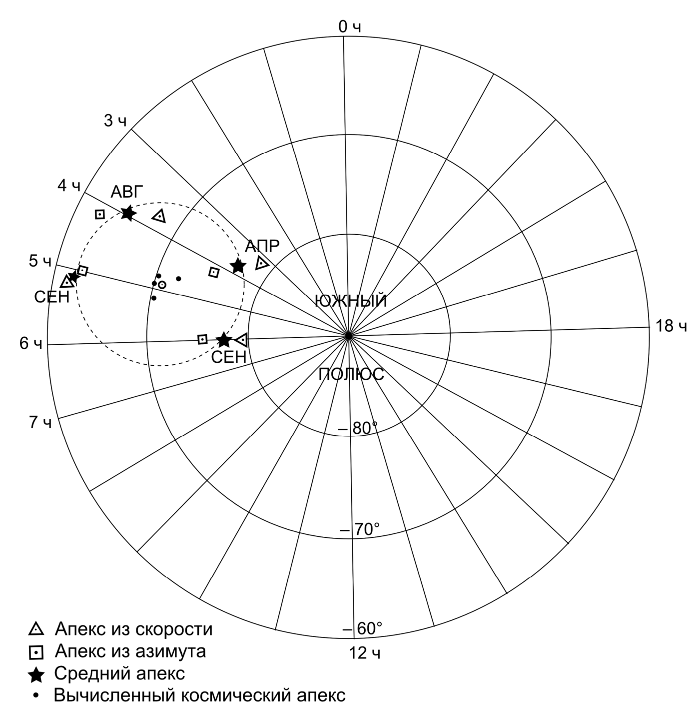


Рис. 18.23. Карта наблюденного апекса для результирующей абсолютного движения Земли

альтернативной возможности — *противоположного направления* движения Солнечной системы по предварительно определенной траектории, то есть направления к апексу Южного полюса эклиптики, дало полное решение вопроса. На первое время это позволило определить числовое значение абсолютного движения Солнечной системы и положительно выделить эффект орбитального движения Земли с помощью эфирно–ветрового интерферометра.

Апексы, установленные на основании наблюдений четырех эпох, определены их прямым восхождением и склонением, приведенными в табл. 1 и 2, а также показаны на карте (рис. 18.23), кото-

рая изображает район южного полушария небесной сферы. Наблюдаемые апексы получены из азимутальных кривых, они показаны квадратиками, а полученные из амплитудных кривых отмечены треугольниками; средние для двух положений каждой эпохи указаны звездочками и представляют собой окончательные *наблюдаемые* положения апекса абсолютного движения Земли для прошлых эпох. Четыре апекса должны лежать на земной «отклоненной» орбите, центр которой есть апекс космической составляющей движения Земли. Эта отклоненная орбита есть проекция земной орбиты на небесную сферу и, поскольку центр ее смещен на 7° от полюса эклиптики, эта проекция есть окружность. Центр окружности, которая наиболее близко соответствует четырем наблюдаемым апексам, изображенным звездочками, найден графическим методом. Этот центр есть *первое приближение* к апексу космического движения Земли. Четыре апекса не только лежат замечательно близко к окружности, но они должным образом соответствуют их эпохам, как показано моделью орбиты на рис. 18.24.

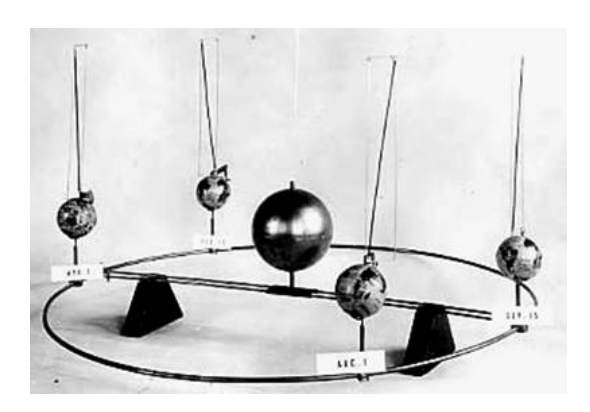


Рис. 18.24. Модель, иллюстрирующая положение Земли на ее орбите для четырех дат наблюдения

С помощью закона треугольника теперь можно найти приближенное решение для скорости космического движения Земли. Объяснение упростится, если воспользоваться моделью (см. рис. 18.24), показывающей относительные положения Земли на ее орбите для четырех эпох; над каждым из четырех глобусов помещен проволочный параллелограмм, который в примерном масштабе показывает отношение орбитальной и космической составляющих

движения и их результирующую; космическая составляющая движения направлена вниз. Направление и скорость орбитальной составляющей движения известны, направление результирующего движения дано наблюдениями (его скорость не требовалась), космическая составляющая направлена к центру отклоненной орбиты именно так, как было найдено. Таким образом, имеются заданные направления трех сторон треугольника и длина одной стороны, что определяет длины других сторон. Таким же способом было найдено в первом приближении, что скорость космической составляющей движения должна составлять порядка 200 км/с.

Имея приблизительное значение скорости космического движения и используя законы сферической триангуляции, можно найти апекс космической составляющей; это сделано независимо для каждой из четырех эпох путем использования направлений результирующего движения, данных четырьмя наблюдаемыми результирующими апексами, а также скоростью и направлением орбитального движения Земли, соответствующим четырем датам времени. Таким образом, получены четыре приближенных местоположения апекса космического движения, основанных на предполагаемом значении скорости; они должны совпадать с центром отклоненной орбиты, но возможно, что они будут разбросаны вокруг этого центра.

Дальнейшие попытки были предприняты с предполагаемыми значениями скорости космической составляющей движения 205, 210 и 215 км/с, в результате чего было сделано заключение, что скорость 208 км/с космической составляющей дает наиболее плотное группирование четырех независимых локализаций космического апекса. В табл. 4 даны прямое восхождение и склонение указанных четырех точек и, таким образом, средние значения координат, которые приняты как местоположение апекса космического движения. Апексы, определенные из наблюдений каждой даты независимо друг от друга, показаны четырьмя точками около центра окружности на рис. 18.23; при этом среднее значение этих местоположений показано точкой

Таблица 4. **Центры наклоненной орбиты**

Эпоха	α	β
8 февраля	5 ч 14 мин	-69°54'
1 апреля	4 ч 46 мин	-70° 4'
1 августа	4 ч 40 мин	-72°00'
15 сентября	4 ч 54 мин	-70°11'
Средний апекс	4 ч 54 мин	-70°33'

вблизи центра окружности. Это и есть окончательное решение для космической составляющей движения Земли и направления абсолютного движения Солнечной системы как целого; это космическое движение Земли имеет скорость 208 км/с и направлено к апексу, имеющему прямое восхождение 4 ч. 54 мин. и склонение −70°33'.[69]

Местоположение апекса, таким образом, определено в созвездии Золотой Рыбы и находится около 20° южнее звезды Канопус, второй ярчайшей звезды небосвода. Она находится в середине прекрасного Большого Магелланова скопления звезд. Апекс находится около 7° от полюса эклиптики и около 6° от полюса постоянной плоскости Солнечной системы, таким образом, видимое движение Солнечной системы почти перпендикулярно этой плоскости. Это означает, что Солнечная система может быть рассмотрена как динамический диск, который проходит через сопротивляющуюся среду и который поэтому сам устанавливает перпендикуляр к линии движения.

Тот факт, что Солнце движется по направлению к южному апексу со скоростью 208 км/с и в то же самое время существует несомненное движение по отношению к ближайшим звездам в противоположном направлении к созвездию Геркулеса со скоростью 19 км/с, означает, что группа звезд как целое движется вперед к южному апексу со скоростью 227 км/с.

Необъяснимое уменьшение скорости и смещение азимута

Направление движения Земли в пространстве определено из предположения, что движение спроектировано на плоскость интерферометра, и путем наблюдения **различий**, произведенных проекцией составляющей вращения Земли вокруг Солнца. Скорость движения определена путем сравнения со смещением полос, пред-

[69] Есть основание полагать, что Миллер ошибся в определении южного направления эфирного ветра, поскольку, как им правильно показано ранее, в выборе знака направления возможен произвол, данные же строении Земли указывают на то, что эфирный ветер обдувает Землю с севера — *В. А*.

положительно вызванным известной орбитальной скоростью Земли.

Оценка наблюдаемого эффекта основана на предположении, что это есть эффект второго порядка и что эфир полностью неподвижен и не завихрен движением Земли сквозь него. Наблюдения выявили два эффекта, которые никак не объясняются такой простой теорией.

Смещение интерференционных полос, всегда меньшее ожидавшегося, показало уменьшение скорости относительного движения; значит, эфир, через который интерферометр переносится движением Земли, не находится в абсолютном покос. Когда скорость движения Земли, рассчитанная по результатам этих исследований, сравнивается со скоростями, наблюдаемыми с помощью интерферометра, полученное числовое значение коэффициента уменьшения скорости остается необъяснимым. В табл. 5 показан максимум наблюдаемой результирующей скорости, полученной пересчетом данных табл. 3, совместно с вычисленной результирующей скоростью в плоскости интерферометра, и коэффициент уменьшения *«k»* для каждой даты наблюдения. Значение *«k»*, которое приводит к результирующей скорости, наиболее согласованной с реальными наблюдениями для всех дат наблюдений, равно 0,0514, и это единственное значение, которое использовано в вычислении теоретических кривых. Однако до сих пор физическая природа этого уменьшения коэффициента остается непонятной [70], и не нужно полагать, что этот коэффициент постоянен для всех дат наблюдений. Похоже, что космическая и орби-

Таблица 5. **Космические скорости**

Эпоха	Скорость, км/с		k
	наблюдаемая	вычисленная	
8 февраля	9,3	195,2	0,048
1 апреля	10,1	198,2	0,051
1 августа	11,2	211,5	0,053
15 сентября	9,6	207,5	0,046
Значение, принятое для вычислений, k = 0,0514			

[70] Причиной уменьшения относительной скорости эфира и Земли является вязкость эфира. В пограничном слое эфира, как и каждого реального газа, относительная скорость уменьшается по мере приближения к поверхности движущегося в газе тела. Наличие (земной атмосферы существенно увеличивает толщину пограничного слоя — *В. А.)*

тальная составляющие движения уменьшаются в одной и той же пропорции.

В соответствии с простой теорией направление космического движения должно колебаться назад и вперед через линию север-юг, пересекая ее и совершая одно колебание в звездные сутки вследствие вращения Земли вокруг ее оси. Когда наблюдаемый азимут нанесен на карту, результирующая кривая направления пересекает свою ось дважды в каждые сутки, как показано на рис. 18.25, но эта ось изменяет свое положение относительно меридиана. Для эпохи февраля ось смещена на 10° к северо-западу, для апреля смещена на 40° к востоку, для августа – 10° к востоку, и для сентября – 55° к востоку.

Обоснованность решения

Для каждой возможной причины возмущений, подлежащей упразднению, должен быть развит адекватный метод соответствующей процедуры, предполагающий, что устойчивые наблюдаемые эффекты хотя и малы, но систематичны и происходят вследствие реального эфирного ветра. Наблюдаемое смещение интерференционных полос по некоторым неизвестным причинам соответствует лишь составляющей скорости Земли в пространстве. Теоретическое решение проблемы абсолютного движения, которое рассматривалось, включает только **относительные значения** наблюдаемого эффекта и не требует знания ни причины уменьшения видимой скорости движения, ни размеров этого уменьшения. Обоснованность решения показана использованием недавно определенных скорости и направления космического движения вместе с известными скоростью и направлением орбитального движения Земли для вычисленного результирующего эффекта для каждой из четырех эпох.

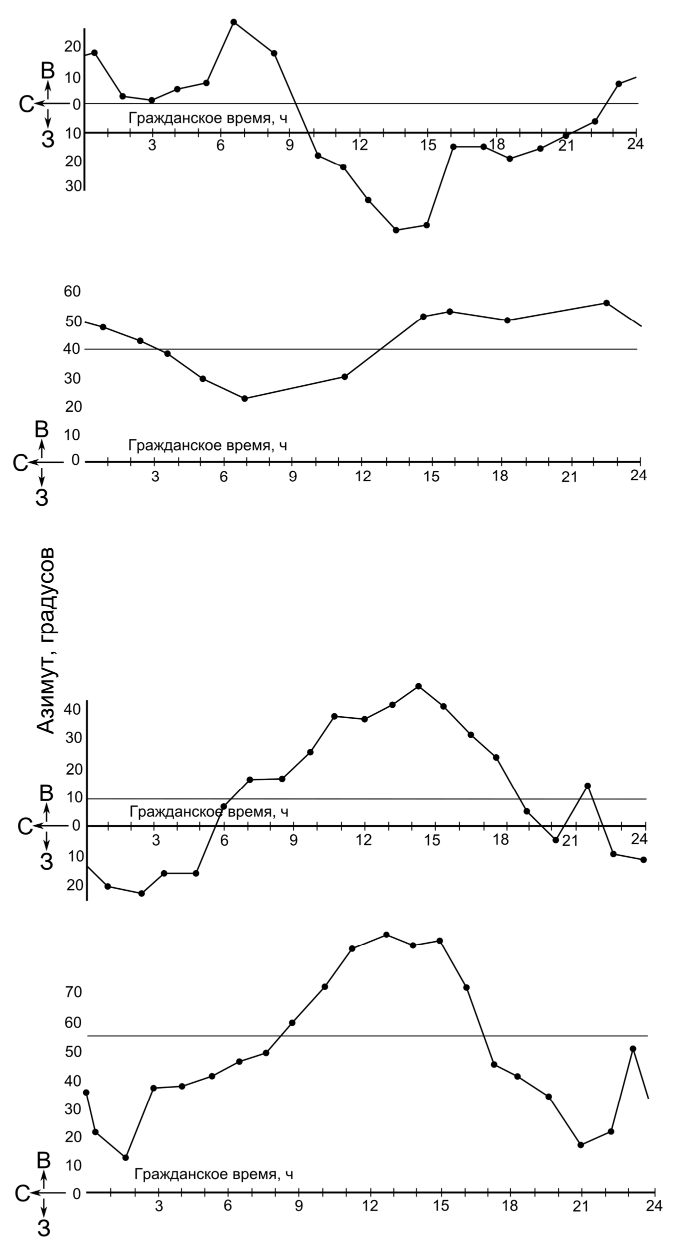


Рис. 18.25. График, показывающий наблюдаемое смещение оси азимута эфирного ветра

Скорость и направление результирующего движения как проекции на плоскость интерферометра рассчитаны через интервал 2 ч звездных суток для каждой эпохи. Амплитуды, умноженные на уменьшающий коэффициент *k*, показаны на рис. 18.26 с помощью широких линий кривых слева. Азимуты рассчитанных направлений по отношению к осям кривых показаны гладкими широкими линиями кривых справа. Сопоставление этих восьми кривых есть средние кривые действительных наблюдений, приведенных на рис. 18.12.

Рассчитанные кривые соответствуют наблюдениям особенно хорошо, отражая природу эксперимента. Поскольку космическая составляющая движения относительно велика, ее эффект превалирует так, что фазы кривой остаются почти постоянными, если они привязаны к звездному времени, так что минимум у всех приходится на 17 часов. Это есть кривая орбитальной составляющей, которая вызывает колебания кривых в феврале и апреле и приводит к выраженному минимуму шесть месяцев спустя. Эффект орбитальной составляющей является причиной явного наклона вперед азимутальных кривых августа и сентября.

Близость критических параметров теоретических кривых для различных эпох наблюдений наиболее поразительна, когда кривые нанесены на карту относительно местного гражданского времени, как на рис. 18.27. Преобладающий эффект космической составляющей времени остается постоянным в звездном времени, создавая минимум, который имеется при восходе Солнца в феврале, прогрессивно смещаясь в гражданском времени каждые сутки, изменяясь сезонно, так что в сентябре он приходится близко к закату Солнца; время, когда азимутальная кривая пересекает свою ось подобным же образом, прогрессивно смещается в гражданском времени.

Продолжая астрономическое описание, следует сказать, что были найдены элементы отклоненной орбиты абсолютного движения Земли; они были использованы для вычисления видимого места наблюдений. Скорость и апекс постоянной космической составляющей движения Земли только что найдены из комбинации с известной орбитальной скоростью по данным четырех эпох наблюдений, чтобы найти четыре апекса результирующего движения четырех эпох. Наблюдаемые и вычисленные прямые восхождения и склонения апексов приведены в табл.6.

Таблица 6. **Результирующие апексы, наблюдаемые и вычисленные**

Дата наблюдения	$\alpha_Н$	$\alpha_В$	$\delta_Н$	$\delta_В$
8 февраля	6 ч 0 мин	5 ч 40 мин	–77°27'	–78°25'
1 апреля	3 ч 42 мин	4 ч 00 мин	–76°48'	–77°50'
1 августа	3 ч 57 мин	4 ч 10 мин	–64°47'	–63°30'
15 сентября	5 ч 5 мин	5 ч 00 мин	–62°4'	–62°15'

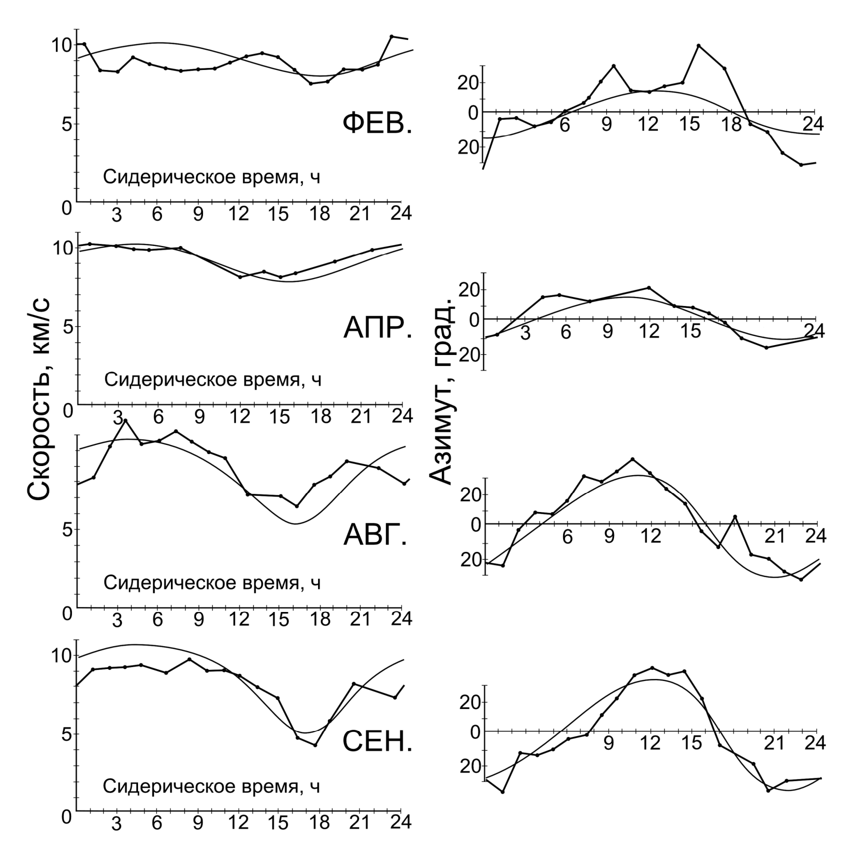


Рис. 18.26. Наблюдаемые и рассчитанные скорости и азимуты эфирного ветра для четырех периодов наблюдения, привязанные к звездному времени

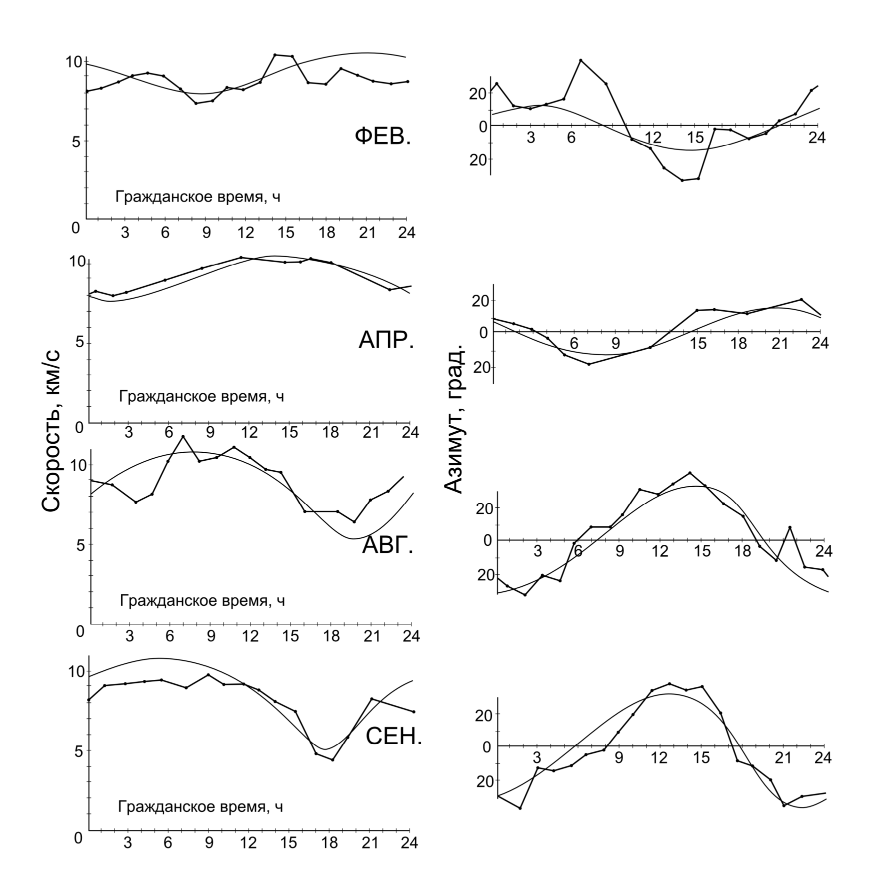


Рис. 18.27. Наблюдаемые и рассчитанные скорости и азимуты эфирного ветра для четырех периодов наблюдения, привязанные к звездному времени

Апексы космической составляющей, определенные предварительно и приведенные в табл.4, показаны большой звездочкой на рис. 18.28, а для четырех вычисленных апексов результирующего движения и для четырех эпох показаны маленькими кружочками, которые, как видно, лежат на окружности, изображающей вычисленную отклоненную орбиту. Наблюдаемые апексы для четырех эпох изображены меленькими звездочками. Местоположение полюса эклиптики также показано. Точное согласие между вычисленными и наблюдаемыми апексами должно приводить к очевидному заключению об обоснованности решения наблюдений эфир-

ного ветра для абсолютного движения Земли и также для эффекта орбитального движения Земли, которые до настоящего времени не были доказаны.

Может показаться неожиданным, что такое полное согласие между наблюдаемыми и вычисленными местоположениями оказалось возможным получить из наблюдений таких минутных эффектов и эффектов, считающихся трудно определяемыми и неопределенными. Возможным объяснением является то, что звездочки, изображающие окончательный результат для февральской эпохи, есть эффект от усреднения 8080 отдельных определений этого местоположения; звездочка для августовской эпохи отображает 7680 отдельных определений, соответственно для сентябрьской – 6640 и для апрельской – 3208 определений.

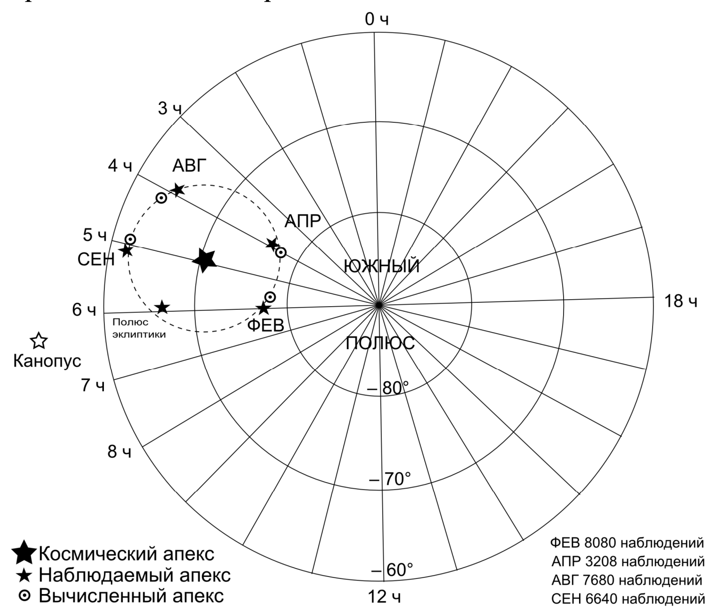


Рис. 18.28. Наблюдаемый и рассчитанный апексы абсолютного движения Солнечной системы

Обращает на себя внимание то, что результаты, полученные здесь, не противоречат первоначальным результатам, полученным Майкельсоном и Морли в 1887 г.; действительно, они согласуются с ними и подтверждают ранние результаты. С добавлением новых

наблюдений интерпретация должна пересматриваться и расширяться.

Модель, приведенная на рис. 18.29, изображает в пропорциональном масштабе конструкцию для изучения абсолютного движения Земли.

Земля изображена мячом, расположенным около вершины модели, а плоскость эклиптики — горизонтальной пластиной, проходящей через центр Земли. Космическая составляющая движения Земли, являющаяся абсолютным движением Солнечной системы, направлена к апексу, расположенному около южного полюса эклиптики; она изображена стрелой, помещенной около вершины модели, и дорожкой, продлевающей ее ниже «Земли». Орбитальные составляющие движения для четырех дат этих наблюдений отображены стрелками, лежащими в горизонтальной плоскости. Четыре результирующих движения отображены диагоналями четырех параллелограммов, соответствующим отдельным датам. Результирующее движение в виде направленна годовой траектории на небесной сфере наклоненной орбиты Земли изображено кругом, расположенным в нижней части модели; четыре позиции, соответствующие датам наблюдений, промаркированы нижними стрелками. Эта часть модели соответствует орбитальной окружности на карте (см. рис. 18.28) и модели орбиты с четырьмя глобусами (см. рис. 18.24).

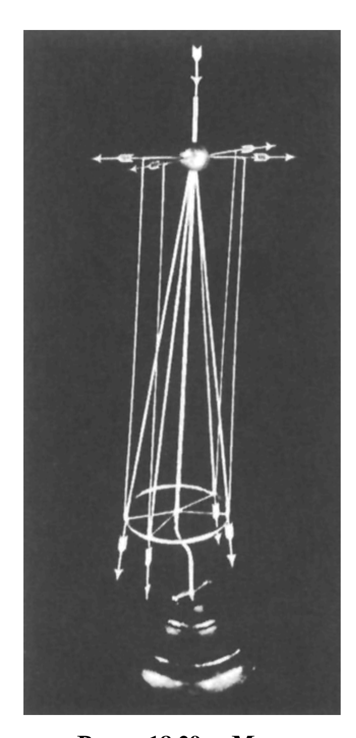


Рис. 18.29. Модель, иллюстрирующая составляющие эфирного ветра

Вероятная погрешность

Изучение числовых результатов, приведенных на рис. 18.26, показывает, что вероятная погрешность определения наблюдаемой скорости, имеющей значение от 10 до 11 км/с, составляет ±0,33

км/с при вероятной погрешности определения азимута ±2,5°. Вероятная погрешность определения прямых восхождений и склонений в полярных координатах (см. рис. 18.28) составляет ±0,5°.

Полнопериодический эффект

Хотя внимание в этих экспериментах было сосредоточено на полупериодическом эффекте второго порядка, в них присутствует эффект первого порядка, сравнимый по величине. Теория эксперимента эфирного ветра, как она обычно дается, точна, но абстрактна, основана на допущении простейших условий работы аппаратуры, которых никогда не существует в реальном эксперименте. В действительности интерференционные линии зависят не только от скорости и направление эфирного ветра, но также и от геометрического расположения зеркал. Простая теория предполагает, что зеркала на концах двух плеч интерферометра перпендикулярны к лучам света; но это даст полосы бесконечно большой ширины, все поле зрения будет однообразно засвечено, критические условия не только не желательны, но и не применимы на практике. Чтобы создать серию прямых полос, пригодных для измерения смещений, как показано на рис. 18.7, необходимо, чтобы одно из концевых зеркал было повернуто вокруг вертикальной оси на очень малый угол так, чтобы две действительных интерферирующих плоскости пересеклись. Ширина полос и число полос в поле зрения прямо зависят от отклонения концевого зеркала. Угол отклонения света на зеркале, как это было в данных эксперимента, составил от 0° до ±4". Позже проф. В. М. Хикс из Университетского колледжа (Шеффилд) детально обсудил теорию [71], используя методы не только строгие, но и общие, применяя их к некоторым приспособлениям в оптических путях аппаратуры. В теории Хикса показано, что когда имеются периодические изменения относительной фазы двух лучей света в интерферометре с зеркалами, приспособленными к реальной практике, вносится дополнительный эффект смещения полос, период которого составляет полный оборот инструмента. Амплитуда этого полнопериодического смещения зависит от ширины полос, использованных во время наблюдений и примерно равна амплитуде сме-

[71] W.M.Hicks // Phil.Mag. 1902. Vol.3. № 6. 9. P.256,555.

щения полос под давлением эфирного ветра, когда в поле зрения имеется восемь полос; с обычной надежной установкой шести полос в поле зрения полнопериодическое смещение полос меньше, чем полупериодической эффект, как показано на рис. 18.21.

Полнопериодическое смещение, которое обычно наблюдается, присутствует во всех наблюдениях, включая первоначальные наблюдения Майкельсона и Морли. Хикс обратил внимание на этот факт и вычислил смещение полос. К несчастью, ни в каких наблюдениях, сделанных до сих пор, не проводилось числовое измерение ширины полос, определяемой углом отклонения зеркала, и поэтому невозможно использовать полнопериодический эффект для решения проблемы эфирного ветра. Однако приближенное число полос, видимых в поле зрения, чаще всего записывалось. Сравнение ширины полос с полнопериодическим эффектом показывает прямо пропорциональное отношение, как этого и требует теория Хикса; это отношение показано на рис. 18.30.

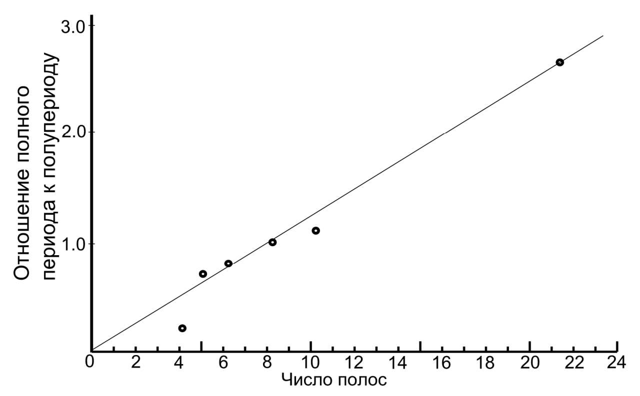


Рис. 18.30. Полнопериодический эффект: отношение смещения полос к их ширине

Гипотеза увеличения эфира

Чтобы объяснить приведенные здесь результаты, кажется необходимым признать реальность модифицированного сокращения Лоренца–Фицжеральда или постулировать вязкость захватывающего эфира. В комментарии по предварительному отчету о настоящей работе, представленному Национальной академии наук в апреле 1925 г. д-р Л.Зильберштейн сказал:

«С точки зрения теории эфира здесь представлены результаты столь же хорошие, что и другие, предварительно открытые, легко объяснимые эфирной концепцией Стокса, модифицированной Планком и Лоренцем и обсужденной автором (Зильберштейном) в „Philosophical Magazine“[72]*».*

Теория Стокса может быть описана посредством следующего изречения, заимствованного из трактата «Эфир и материя» сэра Джозефа Лармора (стр. 10, 13, 35 и 36):

«Поскольку сэр Джордж Стокс не был расположен допустить, что эфир может свободно проходить сквозь промежутки материных тел в соответствии со взглядом Френеля, и поскольку некоторые другие теории его движения, которые могут быть согласованы с фактами астрономической аберрации, требуют незавихренных течений, объяснение ограничения таких течений, как он полагает, найдено. Эту цепь аргументов — что аберрация требует возмущений, которые должны быть незавихренными, что движение тел возмущает эфир, что это может быть объяснено только рассеиванием возникающих вихревых возмущений с помощью поперечных волн, и далее, что излучение само вовлекает поперечное волновое движение, – он считает взаимно согласующейся и самоподдерживающейся и, далее, формирующей совершенно очевидную, в соответствии с этим взглядом, конституцию эфира Затем возникает вопрос, насколько далеко распространяется это объяснение применительно к случаю, в котором эфир увлекается материей, движущейся сквозь него».

Существуют систематические различия в так называемой константе аберрации и в стандартном расположении звезд, определенные различными наблюдениями, которые могут быть объяснены гипотезой различного эфирного ветра вследствие различий в местном коэффициенте увлечения. Увлечение эфира на любой данной станции может зависеть более или менее от высоты, местного контура и возмущений большими массами, расположенными на поверхности Земли, такими, как горные хребты. Эксперименты по эфирному ветру никогда не проводились на уровне моря, а также нигде, это факт, исключая Маунт Вилсон, с достаточно полными точными измерениями эффекта.

---

[72] L.Silberstein // Phil.Mag. 1920. Vol.39. P.161.

Теперь очевидно, что скорость ветра на Маунт Вилсон не сильно отличается от скорости ветра на Кливленде и что на уровне моря она будет, вероятно, той же. Уменьшение измеренной скорости 200 км/с или более до наблюдаемой 10 км/с может быть объяснено на основе теории сокращения Лоренца–Фицжеральда без привлечения представлений об увлечении эфира. Это сокращение может зависеть или не зависеть от физических свойств твердого тела и это может быть, а может и не быть точно пропорционально квадрату относительной скорости Земли и эфира. Очень небольшое отклонение сокращения от значения, вычисленного Лоренцем, должно объяснить наблюдаемый эффект. Сэр Оливер Лодж в автобиографии написал:

«Я еще упорно придерживаюсь идеи, что фицжеральдовское сокращение – реальность, которая должна быть учтена при рассмотрении физического устройства Вселенной» [73].

Поэтому необходимо обсудить, какие имеются возможности для уточнения теорий эфира, чтобы они были согласованы с фактом уменьшения наблюдаемой скорости абсолютного движения и со смещением азимута. Трудности, созданные этими аномалиями, конечно, не больше, чем подобные трудности, существующие во многих других областях экспериментальных исследований.

Другие современные эксперименты по эфирному ветру

Поскольку сообщение об очевидности абсолютного движения Солнечной системы сделано в Канзас-Сити в 1925 г. были проведены некоторые другие эксперименты по обнаружению эфирного ветра интерферометром различными экспериментаторами в различных условиях, приведя к результатам, обычно рассматривающимся как отличные от выводов, сделанных в настоящей статье. Краткое изложение этих экспериментов будет сделано без детального анализа.

Д-р Рой Дж. Кеннеди из Пасадены применил интерферометр с оптическим устройством оригинальной конструкции, обеспечив-

[73] O.J.Lodge. Past Years. 1932. P.206.

шим высокую чувствительность [74]. Длина оптического пути до оконечного зеркала, обозначенная D в формуле, данной ранее, составляла 200 см. Аппарат был запечатан в металлическую коробку, заполненную гелием. Заключение гласило, что скорость индицированного эфирного ветра должна быть менее 2,5 км/с; этот предел был позднее уменьшен Иллингвортом до 1 км/с.

Проф. А.Пиккар и Е.Стаэль из Брюсселя, полагая, что высота над поверхностью Земли может иметь влияние на скорость эфирного ветра, разместили интерферометр в аэростате, который подняли на высоту 2500 м [75]. Аэростат вращался вокруг вертикальной оси посредством пропеллера. Длина оптического пути интерферометра D = 280 см; он имел самозаписывающий прибор и термостат и был заключен в герметизированный металлический ящик[76]. Индицированная скорость могла составить 7 км/с, что было ограничено точностью интерферометра. Этот интерферометр был позже перенесен на вершину Риги в Швейцарии, на высоту 1800 м, где наблюдения показали верхний предел возможной скорости эфирного ветра 1,5 км/с [77].

Позже проф. Майкельсон, Ф. Г. Пис и Ф.Пирсон использовали интерферометр, смонтировав его в обсерватории Маунт Вилсон в Пасадене; длина оптического пути составляла 1616 см и позже была увеличена до 2592 см. Отсчеты делались по вертикальной оси интерферометра, наблюдатель помещался в комнате, расположенной над аппаратом. Результат не дал смещения больше, чем 1/50 того, которое ожидалось из предположения эффекта, вызванного движением Солнечной системы со скоростью 300 км/с [78].

Проф. Георг Джус, работающий в Йене, использовал интерферометр, смонтированный на кварцевой основе, подвешенной в ва-

---

[74] R.J.Kennedy // Proc. Nat. Acad. Sci. 1926. Vol. 12. P.621; Astrophys.J. 1928. Vol.68. P.367.

[75] A.Piccard, E.Stahel //Comptes Rendus. 1926. Vol.183. P.420; Naturwiss. 1928. B.16. S.935.

[76] Металлический ящик полностью заэкранировал интерферометр от эфирного ветра — это обрекло эксперимент на неудачу. — *В. А.*

[77] A.Piccard, E.Stahel //Comptes Rendus. 1927. Vol.185. P.1198; Naturwiss. 1928. B.16. S.25.

[78] A.A.Michelson, F.G.Peas, F.Pirson // Nature. 1929. Vol.123. P.88; J.Opt. Soc. Am. 1929. Vol.18. P.181.

куумированном **металлическом** (жирный шрифт мой — *В. А.)* строении, и снабженный фотографической регистрацией. Интерферометр имел длину оптического пути D=2099 см. Результаты показали, что существующий эфирный ветер не мог превысить 1 км/с [79].

В трех экспериментах из четырех интерферометр был заключен в массивный металлический корпус, размещенный в подвальной комнате фундаментального здания ниже уровня земной поверхности; в эксперименте Пиккара и Стаэля была использована металлическая герметизированная камера, а в эксперименте Майкельсона, Писа и Пирсона интерферометр находился в камере с постоянной температурой, но не вакуумированной. При исследовании вопроса увлечения эфира наличие массивных непрозрачных экранов нежелательно. Эксперимент, рассчитанный на обнаружение очень малых влияний на скорость света со стороны проходящего сквозь него эфира, должен быть построен так, чтобы не существовало экранов между свободным эфиром и световым путем в интерферометре. Запланировано непосредственно изучить эту сторону проблемы.

Ни в одном из других экспериментов не было проведено наблюдений такой длительности и такой непрерывности, какие требуются для выявления суточных и сезонных изменений.

Поскольку интерферометр, использованный Кеннеди, более чувствителен, чем приборы обычного типа, то вызывает сомнение, что точность результатов, полученных с его помощью, выше тех, которые были получены при очень большом числе отсчетов, сделанных при всех температурных условиях и сезонах на интерферометрах обычного типа, обладающих много меньшей чувствительностью к возмущающим факторам.

Ограниченность метода прямого отсчета была осознана, но он был принят потому, что он прост и позволяет набрать большое число отсчетов в кратчайшее время. Можно поверить, что некоторый недостаток в точности каждого отдельного отсчета полностью компенсируется большим числом отсчетов и использованием интерферометра с длинным оптическим путем, и поэтому высокой изначальной чувствительностью. Интерферометр, использованный в описанных здесь экспериментах, имеет длину оптического пути D = 3203 см.

---

[79] G. Joos // Ann. d. Phys. 1930. Vol.7. № 5. P.385.

Другие доказательства космического движения

Различные астрономические определения движения Солнечной системы в пространстве с помощью различных методов показали наличие относительного движения и дали некоторую косвенную информацию об абсолютном движении. Однако некоторые недавно проведенные важные эксперименты в различных областях с очевидностью указали на существование космического движения. Д-р Эсклагон, Директор Парижской обсерватории, провел детальное изучение земных течений – деформации земной коры и океанских течений. В последней работе он рассмотрел 166.500 результатов наблюдений, охватывающих период в 19 лет[80]. Имеется составляющая эффектов, связанных с приливами и отливами, которая указывает на движение Солнечной системы в плоскости, в которой находится меридиан звездного времени 4,5 ч и 16,5 ч.

При изучении отражения света Эсклагон установил с полной очевидностью то, что он назвал «оптической диссимметрией пространства», ось симметрии которой лежит в меридиане 8 и 20 ч звездного времени. Этот эффект можно было бы объяснить наличием эфирного ветра; эти результаты находятся в строгом соответствии с наблюдениями эфирного ветра, описанными здесь [81].

Множество недавних наблюдений космических лучей показало совершенно определенно максимум радиации в направлении, отмеченном меридианом в 5 и 17 ч звездного времени. Этот эффект показали весьма обширные наблюдения Кольхестера и фон Салиса, Бюттнера и Фельда, а также Стейнке [82]. Наблюдения, выполненные на немагнитном корабле «Карнеги» показали тот же эффект для наблюдений, выполненных между 30° северной и 30° южной широты [83].

Свидетельства галактического движения, которое относится более или менее к абсолютному движению Солнечной системы, найдены Харловом Шаплеем, изучающим межзвездную среду, Дж. С.Пласкеттом из изучения движений звезд В-типа и

---

[80] E.Esclagon //Comptes Rendus. 1926. Vol.183. P.921; 1926. Vol.183. P.116.
[81] E.Esclagon // Comptes Rendus. 1927. Vol.185. P.1593.
[82] Kohlhorster, Steinke, Buttner// Zelts. f. Phys. 1928. B.50. S.808.
[83] Report Carnegie Inst. 1928. Vol.27. P.255.

Г.Штромбергом из исследований звездных скоплений и туманностей [84].

Л.Курвуазье провел исследования некоторых типов открытых свидетельств абсолютного движения Земли. Его эксперименты относятся к области отражения света, деформации Земли, удлинению орбит спутников Юпитера и аберрационной константы. Р.Томашек и В.Шифферних выполнили наблюдения на ряде связанных друг с другом явлениях [85].

Имеются отдельные аномалии в астрономических наблюдениях менее определенного характера, которые, однако, могут быть объяснены наличием эфирного ветра. Такие аномалии имеются в наблюдениях констант аберрации, стандартного расположения звезд и коррекции часов, определенных в различное время суток.

Карл Г.Джански из Телефонной лаборатории Белла нашел свидетельства существования специфического шипящего звука в коротковолновом радиодиапазоне, который приходит с определенного космического направления, лежащего в меридиане 18 ч звездного времени [86].

Благодарности

Представленные здесь эксперименты включали овладение громадным количеством материала для наблюдений, большая часть которого предназначалась для регулировки и подготовительной проверки условий работы: только небольшая часть, которая все же очень велика, использована в окончательных вычислениях. Уменьшение этой массы материала оказалось чрезвычайно трудным делом. Не удается припомнить каких-либо других экспериментов, которые включали бы такое количество деталей и такого продолжительного изучения. Это потребовало значительного внимания многих лиц. Автор особенно обязан проф. Дж. Дж. Нассау из отделения астрономии Кейсовской школы прикладной науки за

[84] Harlow Shapley // Nature. 1928. Vol.122. P.482; J.S.Plaskett // Science. 1930. Vol.71. P.152; G.Stromberg // Astrophys.J. 1925. Vol.61. P.353.

[85] L.Courvoisier // Astronomische Nachrichten. Nos 5416, 5519, 5599, 5715, 5772, 5910; R.Tomaschek, W.Schaffernicht // Aitronomische Nachrichten, Nos. 5844, 5929; Ann. d.Physik. 1932. B.15. S.787.

[86] Karl G.Jansky // Electronics. 1933. Vol.6. P. 173.

очень большую помощь в проведении анализа и в математическом решении числовых и астрономических задач, возникших в работе с самого начала наблюдений на Маунт Вилсон в 1921 г. Д-р Г.Штромберг и другие члены персонала Обсерватории Маунт Вилсон помогли советами и консультацией высочайшей ценности. Некоторые помощники, каждый на значительный период, полностью отдавали себя работе, а также обработке наблюдений и вычислениям, среди них следующие должны быть названы персонально: Р. Ф. Ховей (1920–1923 гг.), Г. А. Притчард (1923 г.), Виллард Самуелсон (1924 г.), Г.Брукс Эрнест (1925 г.), Ф. В. Тэйлор (1925–1926 гг.), Дональд Х.Спикер (1926–1927 гг.) и Джеймс Р.Мак-Кинли (1932–1933 гг.). Д-р Р. М. Лагнер был наиболее действенным помощником во всех наблюдениях, выполненных на Маунт Вилсон в 1925 и в 1926 гг.; он подготовил принципиальный материал для окончания настоящего доклада. Проф. Филип М.Морзе очень эффективно помогал в первом анализе общей проблемы абсолютного движения Солнечной системы, он выполнил важную часть вычислений для первого решения проблемы в 1925–1926 гг. Коллеги автора по исследованиям – проф. Джон Р.Мартин (1927–1931 гг.) и м-р Роберт С.Шэнкланд (1932–1933 гг.) непосредственно участвовали в осмыслении проблемы, которое завершилось окончательным определением абсолютного движения Солнечной системы и орбитальным движением Земли так, как представлено в настоящей работе.

Кейсовская школа прикладной науки сделала возможным продолжительное изучение проблемы эфирного ветра. Вашингтонский институт Карнеги и обсерватория Маунт Вилсон создали исключительно благоприятные условия в Маунт Вилсон для проведения наблюдательных работ с 1921 по 1926 гг. М-р Экштейн Кейс обеспечил фонды для очень значительных расходов, которые были вызваны проведением серий экспериментов и испытаний.

The Ether-Drift Experiment and the Determination of the Absolute Motion of the Earth. Dayton C. Miller, Case School of Applied Science //REVIEWS OF MODERN PHYSICS — JULY. 1933, VOLUME 5, pp. 203—242.

Георг Йос и Дейтон Миллер. Письма редактору Physical review (1934).

Георг Йос. Замечания по повторению эксперимента Майкельсона-Морли

В очень интересном отчете [87] об экспериментах по эфирному ветру г-н Миллер сравнивает полученный им положительный эффект эфирного ветра с отрицательными результатами других экспериментов, один из которых является моим собственным. [88] Г-н Миллер находит причину различий в факте, что я заключил оптическое устройство в металлический корпус и производил работы в массивном здании, как и другие экспериментаторы, на которых ссылается г-н Миллер. Я это делал, конечно, для устранения помех, вызванных локальными и временными вариациями температуры. Ведь если принять длину светового пути за 30 м, то можно вычислить, что различия в температуре двух плечей интерферометра производят смещение на 1/10 полосы (это порядок наблюдаемой величины). Получается удивительный результат, что различие в 1/500° имеет значение. Даже тепло тела наблюдателя, который в экспериментах г-на Миллера стоит рядом с интерферометром, может производить этот эффект. Но вопрос, состоящий в том, действительно ли эфир проходит сквозь стены здания, с точки зрения любой эфирной теории, решается фактом, что в экспериментах Саньяка и Майкельсона-Геля получается полное смещение, ожидаемое из теории покоящегося эфира. Использование этого результата в эксперименте, который без лучшей защиты от возмущений от температуры тяжело выполнить, является естественным следствием рассуждений. В целом, нельзя ответить на все сложные вопросы физики, производя только один эксперимент, нужно привлекать выводы из полного экспериментального материала. Поэтому я думаю, что моя экспериментальная установка подходит для решения вопроса, существует ли эфирный ветер или нет, и если нет —

[87] D. C. Miller, Rev. Mod. Phys. 5, 203 (1933).
[88] G. Joos, Ann. d. Physik 7, 385 (1930).

как читатели статьи г-на Миллера могут быть склонны думать — устройство предназначено для доказательства предубеждения.

Георг Йос (Georg Joos),
Physikaliches Institut der Universitat,
Йена, 11 ноября 1933.

Д.К.Миллер. Комментарий на критику д-ра Йоса по эфирно-ветровому эксперименту

Малое изменение температуры воздуха по всему световому пути интерферометра порядка величины, данной профессором Йосом, может произвести смещение системы полос на 0,1 от ширины полосы, если *весь* световой путь одинаково нагревается. Когда Морли и Миллер разрабатывали свой интерферометр в 1904 году, они были полностью осведомлены об этом факте, и это никогда с тех пор не игнорировалось.[89] Тщательные тесты были проделаны и в естественных условиях, и особенно с искусственным нагреванием, для разработки методов, которые могли бы быть свободными от этих эффектов.

Нужно помнить, что эфирно-ветровые наблюдения не зависят от любого абсолютного считывания, и даже от простого смещения полос; они зависят от *регулярного периодического изменения* положения всей системы полос, *на протяжении 25 секунд*. Температура должна расти и *уменьшаться*, с периодичной регулярностью каждые 25 секунд, чтобы произвести этот результат! Любая нерегулярная флуктуация будет устранена в длительных сериях измерений. Наблюдатель поддерживает постоянное отношение к аппарату, и если тепло от тела наблюдателя производит эффект, это могло бы производить продолжительный эффект нагревания, который влияет на *продолжительный* сдвиг полос, и не имеет эффекта на вычисляемые результаты. Тело не может *охлаждать и нагревать* воздух поочередно каждые 25 секунд, и изменять эти значения в соответствии со звездным (сидерическим) временем.

Эфирный ветер, о котором идет речь, не может быть вызван нагреванием помещения: были произведены тщательные измерения

---

[89] См. D. C. Miller, Rev. Mod. Phys. 5, 203 (1933), особенно страницы 212, 213, 215, 220 и далее.

для определения таких эффектов. Эти эффекты полностью независимы от солнечного тепла, от дня или ночи, от лета или зимы.

Кажется совершенно обоснованным то, что, на протяжении тысяч наблюдений, найденные результаты систематического изменения скорости и азимута зависят от звездного времени, а также от изменения комбинации космических и орбитальных движений, что полностью было объяснено в напечатанном отчете.

Дейтон К.Миллер,
Кейсовская школа прикладной науки,
Кливленд, Огайо, 26 декабря 1933.

15 января 1934. Physical review. vol 45, p. 114 [90]

[90] Текст на английском языке: http://bit.ly/eCcwZs

19. Дж. П.Седархольм и др. Новая экспериментальная проверка теории относительности (1958)

Дж. П.Седархольм, Г. Ф. Бланд, Б. Л. Хавенс, (Ватсоновская лаборатория при Колумбийском университете, Нью-Йорк); ***Ч. Х. Таунс***, (Отделение физики Колумбийского университета, Нью-Йорк).

New experimental test of special relativity. J.P.Cedarholm, G.F.Bland, B.LHavens, International Business Machines Watson Laboratory, Columbia University, New York; C.H.Townes, Departament of Physics, Columbia University, New York

Для проверки зависимости скорости света от скорости системы с точностью, значительно превышающей точность, полученную в экспериментах Майкельсона и Морли[91], была использована высокая стабильность частоты двух однотипных излучателей–мазеров. В терминах эфира показано, что скорость эфирного ветра должна быть меньше 1/1000 орбитальной скорости Земли.

Эксперимент, который был проведен в Ватсоновской лаборатории, включал в себя сравнение частот двух мазеров[92], направляющих излучение молекул NH_3 в противоположные стороны. Мёллер проанализировал этот случай[93] и определил изменение частоты луча мазера из-за наличия эфирного ветра, предполагая, что молекулы имеют скорость u относительно полости, через которую они пропускаются, и что эта полость имеет скорость v относительно эфира. Сдвиг может быть просто получен, исходя из предположения, что если v равна нулю, излучение, направленное перпендикулярно к молекулярной скорости, не даст допплеровского смещения. Если полость и луч затем перемещаются со скоростью v сквозь эфир в направлении, параллельном u, излучение должно допускаться молекулами слегка вперед под углом $\theta = \pi/2 - v/c$ по отношению к u. Тогда некоторое изменение частоты вследствие

---

[91] A.A.Michelson, E.W.Morley // Am.J.Sci. 1887. Vol. 34. P.333.

[92] Gordon, Zeiger, Townes // Phys. Rev. 1955. Vol.29. P. 1264

[93] Moller C. // Suppl Nuovo cimento. 1957. Vol.6. P.381.

допплеровского эффекта составит $\varepsilon = u/c \cdot \cos\theta$ или uv/c^2 из-за движения через эфир, если полагать, что частотные свойства молекул не меняются вследствие такого движения.

Для горячих молекул скорость составляет 0,6 км/с, а для орбитальной скорости Земли (30 км/с) $\varepsilon = -2 \cdot 10^{-10}$. Разница в частотах из-за указанного эффекта двух мазеров с противоположно направленными излучениями составит $2\varepsilon\nu$ или около 10 кГц для ν, равной 23870 мГц, соответствующей молекулам NH_3.

Хотя uv/c^2 есть величина второго порядка в скоростях, оно является величиной первого порядка для скорости полости или лаборатории относительно эфира. В данном эксперименте измерен полный эффект со значительно меньшей частичной погрешностью, которую вносит особенно малый верхний предел в ν из-за того, что эта величина входит в первый порядок, чем во втором порядке эксперимента Майкельсона – Морли. Некоторые подобные условия могли бы встретиться в этом эксперименте, если бы использованный интерферометр перемещался в плоскости со скоростью u, а интерференционные линии получались от двух лучей, направленных противоположно.

Два мазерных излучателя с противоположно направленными лучами были смонтированы совместно с необходимым вспомогательным оборудованием на раме, которая могла вращаться вокруг вертикальной оси. Биение частот двух генераторов составляло около 20 кГц и непрерывно регистрировалось. Приблизительно после одной минуты регистрации излучения мазеров, оси которых ориентировались в восточно–западном направлении, аппарат поворачивался на 180° и биение частот регистрировалось в новом направлении.

Изменение биения частоты из-за наличия эфирного ветра должно составлять $4\varepsilon\nu$, или около 20 кГц. За время около 20 мин. было проделано 16 таких сравнений. Это повторялось каждый час в течение временного интервала более 12 ч. так, чтобы вращением Земли охватить плоскость восточно-западного направления.

Относительное изменение частоты двух генераторов около 1 кГц было обнаружено при их поворотах на 180°. Это изменение в значительной степени является следствием влияния магнитного поля Земли и других местных магнитных полей, от которых не было достаточной защиты.

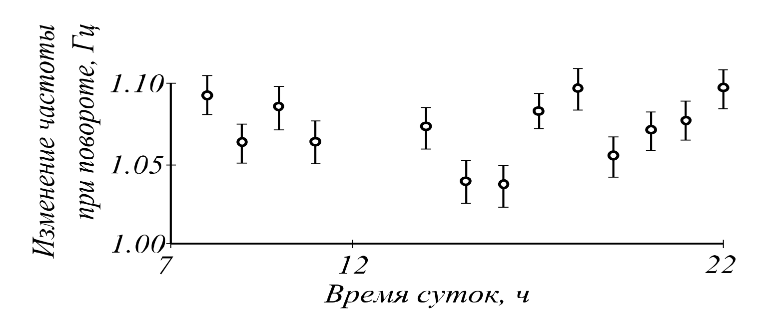


Рис. 19.1. Суточные вариации изменений относительной частоты из-за поворота двух аммониевых мазеров через 180°. Лучи двух мазеров направлены в противоположные стороны. Изменения около 1,08 Гц в основном вызваны местными магнитными полями. Максимальное отклонение от этого значения в течение суток составляет 1/50 Гц. Длины линий приблизительно указывают значения погрешностей, вычисленных из флуктуации 16 измерений в каждой точке

Важным результатом оказалось то, что это изменение не зависело от времени суток (или ориентации Земли), как показано на рис. 19.1.

Первые серии измерений были выполнены в будний день, когда местные магнитные поля и электрическое напряжение в линиях изменялись. В течение суток были выявлены некоторые систематические вариации измеряемого эффекта в пределах ±1/20 Гц. Вторые серии измерений в субботу, когда местные возмущения были наименьшими, показали вариации частоты не больше ±1/50 Гц, как показано на рис.20.1, и даже они оказались случайными и не коррелировались со временем или с ориентацией Земли. Это в точности соответствует стабильности частот мазеров в $1/10^{12}$.

Результаты показали, что член uv/c^2 должен быть меньше в 1000 раз, чем то, что должно было бы быть при наличии скорости v, равной орбитальной скорости Земли. Это значит, что относительная скорость эфира в плоскости, перпендикулярной к земной оси, должна быть меньше 1/30 км/с. Результаты же экспериментов Майкельсона – Морли не соответствуют скорости эфирного ветра в 8 км/с, о которой докладывал Миллер [94], и ближе к верхнему пре-

[94]Miller D.C. // Revs. Modern Phys. 1933. Vol.5. P.203.; Shankland, McCuskey, Leone, Kuerti // Revs. Modern Phys. 1955. Voi.27. P. 167.

делу, равному 1,5 км/с, полученному в экспериментах Джуса [95]. Конечно, основное преимущество поставленного нами эксперимента заключается в наличии в нем первого порядка, дающего значительно большую зависимость от v, чем второй порядок.

Те, кто всегда убеждены в корректности специальной теории относительности или кто не желает рассматривать эфирную модель, должны были бы отметить, что постулаты специальной теории относительности не обязательно несовместимы с существованием смещения частот в вышеуказанном эксперименте или с анизотропией пространства. Это может быть результатом существования внешней по отношению к Земле материи, которая распределена неравномерно или которая не движется со скоростью Земли. Предварительные результаты, изложенные здесь, получены 20 сентября 1958 г. Ожидается, что эксперименты будут продолжены далее и что добавочные измерения будут сделаны в другое время года.

Phys. Rev. Letter. 1958. Vol . 1, № 9. P. 342–349.

[95] Joos G. // Ann. Physik. 1930. Vol.7. P.385.

20. Дж.П.Седархольм, Ч.Х.Таунс. Новая экспериментальная проверка специальной теории относительности (1959)

Дж. П. Седархольм, Ватсоновская лаборатория IBM,
Ч. Х. Таунс, проф.Колумбийского университета, Нью-Йорк

A new experimental test of special relativity. Cedarholm J.P., Townes C.H.

Эксперименты, с помощью которых проверялась специальная теория относительности, обычно предъявляли высокие требования к тщательности и точности для того, чтобы обнаружить и проверить малые отличия между предсказаниями специальной теории относительности и другими альтернативными теориями. Это объясняется тем, что эти отличия умножаются на очень малую величину $(v/c)^2$, где c — скорость света, а v — относительная скорость, которая много меньше c. Поэтому эксперименты, которые четко выражали поддержку специальной теории относительности перед другими теориями, такими, как простая теория эфира, требовали измерения необычайно малых величин, пропорциональных $(v/c)^2$ с поражающей воображение точностью. Первые эксперименты Майкельсона и Морли [96], например, были необыкновенно точны. Но вся их тщательность была направлена на определение изменения длины светового пути на 10^{-8}, происходящего вследствие движения Земли вокруг Солнца, что следовало из теории эфирных течений, и при этом можно было установить верхний предел не менее 1/40 этого значения, или 1/6 орбитальной скорости Земли. Последующие очень тщательные эксперименты подобного типа[97], проведенные полстолетия спустя, установили верхний предел

[96] Michelson A.A., Morley E.W. // Amer. J.Sci. 1887. Vol.34. P.333.
[97] Joos G. // Ann. Phys. 1930. Vol. 7. P.385.

эфирного ветра в 1/20 скорости Земли вокруг Солнца. Другие[98], даже предполагающие существование эфирного ветра, дали не более 1/5 орбитальной скорости Земли. Появление атомных часов, обладающих очень высокой точностью, позволяет еще более повысить точность экспериментальных проверок, одна из которых более или менее полно описана ниже.

В эксперименте сравниваются частоты двух мазерных генераторов [99], излучения молекул аммиака которых направлены в противоположные стороны, но оба параллельно ожидаемому направлению движения через эфир. Если оба мазера повернуть на 180° и их частоты снова сравнить, то вследствие движения мазеров сквозь эфир произойдет изменение их относительных частот; при этом предполагается, что молекулярные вибраторы при таком движении будут неизменными. При сравнении частот может быть достигнута точность $1/10^{12}$, но недостаточно найти изменение частоты, чтобы утверждать, что верхний предел эфирного ветра найден с точностью до 1/1000 орбитальной скорости Земли. Эта точность также зависит от ряда других эффектов, которые будут обсуждены ниже.

Эффект влияния на частоту излучения мазерного генератора движения сквозь эфир были впервые разработан Меллером[100]. Вкратце, некоторое интуитивное объяснение этого сдвига следующее. В этом приборе молекулы аммиака в возбужденном состоянии перемещаются с тепловой скоростью вдоль оси круглого цилиндрического канала, отдавая свою энергию. Если канал стационарен относительно эфира, стоячие волны могут рассматриваться как состоящие из движущихся волн с волновыми фронтами почти параллельными оси. Когда молекула движется вдоль оси, допплеровский эффект не возникает. Если же аппарат движется соосно сквозь эфир со скоростью v, волновой фронт должен повернуться на угол $\alpha = v/c$, чтобы следовать этой осевой скорости. Следовательно, молекулы, движущиеся со скоростью u через канал, дадут частоту, сдвинутую из-за допплеровского эффекта на величину $\nu u\alpha/c = \nu uv/c^2$. Здесь ν — молекулярная частота. Поскольку

[98]Miller D.C. // Revs. Mod. Phys. 1933. Vol.5. P.203. See, however, Shankland R.S., McCuseey S.W., Leone F.C., Kuerti G. // Ibid. 1955. Vol.27. P.167.
[99]Gordon J.P., Zeiger H.J. Townes C.H. //Phys. Rev. 1955. Vol.99. P. 1264.

$\nu uv/c^2$ зависит от относительного направления u и v, два мазера с противоположно направленными лучами должны дать частоты, разность между которыми составит $2uv\nu/c^2$ благодаря этому эффекту.

Если каждый из них повернется на 180°, полное изменение их частотной разности составит $4uv\nu/c^2$.

Специальная теория относительности предсказывает тот же самый результат, что и эфирная теория, предсказавшая, что фицжеральдовское сокращение $\sqrt{1-V^2/c^2}$ возникает в некотором отрезке, параллельном движению скорости V сквозь эфир, и что свойство времени в любых часах или генераторе изменяется с тем же самым фактором $\sqrt{1-V^2/c^2}$, благодаря этому движению. Иными словами, некоторый эффект, вызванный движением через эфир, почти компенсируется соответствующим изменением масштаба длины и времени, которые отвечают преобразованиям Лоренца. Если далее эфирная теория обходится без фицжеральдовского сокращения и замедления времени, то ожидаемое изменение частоты может быть найдено из соответствующих изменений длины и времени.

Рассмотрим сначала фицжеральдовское сокращение. Оно очень слабо влияет на частоту генерации мазеров и им можно пренебречь, потому что эта частота практические не чувствительна к изменению размеров и резонансной частоте канала[101].

Мы видим, однако, что замедление времени окажет влияние. Если канал движется сквозь эфир со скоростью v, а молекулы через канал – со скоростью u, то молекулярная скорость движения сквозь эфир составит $V = u + v$, и молекулярное время будет замедлено для наблюдателя в системе отсчета эфира на коэффициент

$$\sqrt{1-\frac{(u+v)^2}{c^2}} \approx 1-\frac{u^2}{2c^2}-\frac{uv}{c^2}-\frac{v^2}{c^2}.$$

Но время в реальной лабораторной системе отсчета, которое фиксировано относительно канала, замедляется коэффициентом

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \approx 1-\frac{v^2}{2c^2}.$$

Следовательно, молекулы должны иметь кажущееся замедление для наблюдателя в лаборатории, равное разности между этими двумя величинами или коэффициенту

$$1-\frac{u^2}{2c^2}-\frac{uv}{c^2}$$

Первая малая поправка – это хорошо известный доплеровский эффект, он не зависит от эфирного ветра. Вторая малая поправка – это член uv/c^2, если мы следуем представлениям о простом эфире, а не замедлению времени в генерации молекул, как это и постулировано Меллером в первоначальном обсуждении [102].

Из изложенного выше становится ясно, что недостаточность видеть некоторое изменение во временном эквиваленте малой составляющей части величины uv/c^2 может быть объяснена и без допущения замедления времени для тех, кто хочет придерживаться теории эфира с такими особенностями. Следовательно, эксперимент более близок к эксперименту Кеннеди–Торндайка[103], чем Майкельсона и Морли. Нулевой результат Майкельсона и Морли нуждается, конечно, только в привлечении понятия фицжеральдовского сокращения для его объяснения.

Для выполнения нашего эксперимента два аммиачных лучевых мазера с противоположным направлением лучей были смонтированы на раме, которая вращалась вокруг вертикальной оси. Частоты этих генераторов составляли примерно 23.870 мГц. Тепловая скорость u = 0,6 км/с для NH_3 при комнатной температуре. Если орбитальная скорость Земли предположительно и есть скорость движения сквозь эфир, то v = 30 км/с, а изменение частоты составит $4uv\nu/c^2$ = 20 Гц, когда мазеры повернутся на 180° от первоначальной позиции восток-запад в полдень или в полночь.

В изменениях относительной частоты двух мазеров случайные флуктуации составили около 1/10 Гц. На протяжении продолжи-

[102] Moller C. // Nuovo Cimento. 1957. Vol.6. Supp. P.381.

[103] Kennedy R.J., Thorndike E.M. // Phys. Rev. 1932. Vol.42. P.400.

тельного периода, требуемого для проведения измерений, до и после поворота средняя частота изменилась не более, чем на 1/50 Гц или на 1/10 . Следовательно, вариации в 20 Гц, ожидаемые из эфирной теории, должны быть легко обнаруживаемые самом деле, были отмечены вариации около 1 Гц при вращении двух мазеров. Однако эти вариации могут быть устранены с помощью магнитной защиты мазеров, но без экранировки оставалась константа около 1/50 Гц при повороте Земли на 1 об. в течение 24 ч. Это показывает, что сдвиг не более 1/50 Гц может быть приписан эфирному ветру.

Эксперимент с использованием вращения двух мазеров был тщательно выполнен в начале дня 20 сентября 1958 г.[104]. Не было зарегистрировано никакого эффекта, превышающего 1/50 Гц. Следовательно, поскольку орбитальной скорости Земли 30 км/с должно соответствовать изменение частоты в 20 Гц, эфирный ветер не мог быть большим, чем 1 /1000 от этой величины или 30 м/с. Конечно, возможно, что движение Земли было скомпенсировано в это время года движением Солнечной системы сквозь эфир. Поэтому эксперимент был повторен в Ватсоновской лаборатории в течение 24-часовых оборотов на протяжении почти трехмесячного интервала в течение года. Но ни на одном из этих оборотов не было получено эффекта, превышающего 1/50 Гц.

Настоящий эксперимент установил верхний предел скорости эфирного ветра около 1/50 той, которая следовала из предшествующих экспериментов. Такая часть определена тем, что измеренный эффект линеен относительно скорости эфирного ветра v. Эксперимент же типа эксперимента Майкельсона–Морли рассчитан на частичное изменение величины $v^2/2c^2$, которая по порядку больше, чем величина uv/c^2, обсуждаемая здесь. Верхний предел в $1/400\,v^2/2c^2$ установлен очень тщательно экспериментами Йоса[105] с интерферометром Майкельсона. Однако, поскольку это член второго порядка относительно v, верхний предел, установленный для скорости эфирного ветра, есть 1/20 орбитальной скорости Земли или 1,5 км/с. Настоящие же эксперименты имеют то преимуще-

[104] Cedarholm J.P., Bland G.F., Havens B.L., Townes C.H. // Phys. Rev. Let. 1958. Vol.1. P.342.
[105] Joos G. // Ann. Physik. 1930. Vol.7. P.385.

ство, что ожидаемый эффект пропорционален v, а также то, что двое часов могут теперь сравниваться с много большей точностью, чем два расстояния. Этот эксперимент, включающий сравнение двух мазерных генераторов с точностью $1/10^{12}$, может быть, является наиболее точным экспериментом из всех, до сих пор описанных.

Для большинства физиков подтверждение постулатов специальной теории относительности об отсутствии абсолютного движения может и не являться сюрпризом, и более точная экспериментальная проверка может быть даже не важна, потому что этот постулат воспринимается интуитивно удовлетворительно и признается вполне правильным. Нужно, однако, заметить, что положительный эффект в данном эксперименте мог бы дать новую информацию без необходимости изменения основных принципов теории относительности. Скорость движения Земли включает в себя скорость относительно других частей Солнечной системы, так же как и относительно неподвижных звезд и внешних галактик. Следовательно, это относительное движение может, в принципе, создать некоторую анизотропию в пространстве и некоторый сдвиг относительно частоты двух мазеров, когда они поворачиваются на 180°.

Дике предположил [106], что эффект, производимый движением по отношению к неподвижным массам Вселенной, должен существовать реально, но он может иметь порядок тонкой структурной константы а, уменьшая влияние эфирного ветра. Это соответствует частотному сдвигу в настоящем эксперименте порядка 1/7 Гц. Причины, излагаемые Дике, по которым такой сдвиг может существовать, спекулятивны, но очень интересны. Настоящие результаты не дали сдвига более 1/50 Гц, который несколько отличается по порядку от величины $4\alpha u v \nu / c^2$.

Оптические мазерные генераторы должны также сами по себе представлять интерес для экспериментов по специальной теории относительности, поскольку с их помощью, вероятно, можно будет проверять такие изменения в длине, как $1/10^{12}$. Оптический мазерный генератор может быть сконструирован с резонансом между двумя эталонными пластинами, которые ближе по частоте, чем

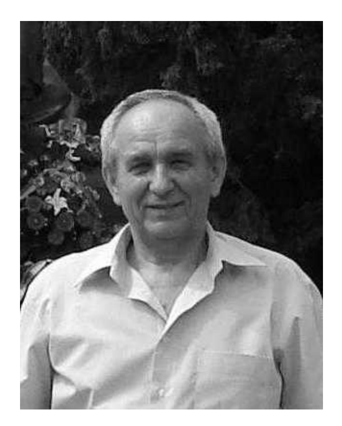
[106] Dicke R.H. // Proc. Symp. Quantum Electronics. Columbia Univ. Press. 1960.

атомный резонанс энергий, В этом случае частота должна зависеть от расположения пластин и будет стабильнее, чем в атомных частотах. Установлено, что генератор будет монохроматическим в пределах $1/10^{11}$. Это предполагает эксперимент, в котором генерации от двух оптических мазеров образуют биение в фотоэлементе. Один из мазеров может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Если исходить из теории эфира, частота биения должна изменяться на величину $\pm v^2 \nu / 2c^2$ по тем же самым причинам, что и в эксперименте Майкельсона–Морли, что предполагалось увидеть как изменение в длине оптического пути. Составляющая v^2/c^2 есть 10^{-8}, так что это может быть обнаружено в настоящее время с отличной точностью.[107]

***Nature. October 31. 1959. Vol. 184, № 4696. P.1350–1351*.**

[107] Schawlow A.L., Townes C.H. // Phys. Rev. 1958. Vol. 112. P. 1940.

21. Ю.М.Галаев. Результаты повторения эксперимента Д.К.Миллера в диапазонах радио и оптических волн (2011)



Юрий Михайлович Галаев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник института радиофизики и электроники им. А.Я.Усикова НАН Украины

Представлены итоги повторения оптического эксперимента Д.К.Миллера. Исследования выполнены в диапазонах радио– и оптических волн методами измерений первого порядка. Коэффициенты корреляции, вычисленные между результатами сопоставляемых экспериментов, лежат в пределах 0,73 – 0,85, что может служить основанием для положительной оценки достоверности экспериментов Д.К.Миллера. Отрицательные итоги экспериментов А.А.Майкельсона и А.А.Майкельсона – Э.В.Морли объяснены недостаточной чувствительностью измерительных устройств.

Введение

Итоги оптических экспериментов А.А.Майкельсона 1881 г. [1, 2] и А.А.Майкельсона, Э.В.Морли 1887 г. [3, 2] привели к мысли об отсутствии на земной поверхности эфирного ветра. Тем не менее, авторы работы [3, 2] отметили: "*…что может быть безнадежно пытаться решить вопрос о движении Солнечной системы путем наблюдений оптических явлений на поверхности Земли. Но не невозможно обнаружить относительное движение аппаратом, подобным использованному, на средних высотах над уровнем моря, например, на вершине отдельно стоящей горы. Вероятно, если эксперимент будет когда-либо проводиться в подобных условиях, кожух аппарата должен быть выполнен из стекла или вообще отсутствовать*".

В 1921–1926 гг. Д.К.Миллер, в работах [4–6, 2], учел рекомендации пионеров поисков эфирного ветра. Был изготовлен более чувствительный крестообразный оптический интерферометр второго порядка с длиной оптического пути 64 м. Кожух интерферометра выполнен из стекла. Интерферометр разместили на высоте около 1830 м, на территории известной астрономической обсерватории "Маунт Вилсон" (Калифорния). Получен статистически значимый объем экспериментальных исследований. Главный результат поисков – измеренное значение скорости эфирного ветра составило около 10000 м/с. Итоги экспериментов Д.К.Миллера, в силу своего общефизического значения, вызвали огромный интерес. Актуальность повторения оптических экспериментов Д.К.Миллера в те годы представлялась несомненной.

В 1929 г. оптический эксперимент был поставлен А.А.Майкельсоном, Ф.Г.Писом и Ф.Пирсоном там же, на территории обсерватории "Маунт Вилсон" [7, 2]. Применен усовершенствованный крестообразный интерферометр с длиной оптического пути 26 м. Для ограждения оптических путей интерферометра использован деревянный кожух. Металл для покрытий оптических путей не применялся. Авторы работы [7, 2] так представили итоги своего эксперимента: "*Результаты дали смещение, но не более чем на 1/50 предположительно ожидавшегося эффекта, связанного с движением Солнечной системы со скоростью 300 км/с*." Таким образом, измеренное смещение полос интерференционной картины соответствовало скорости относительного движения эфира величиной около 6000 м/с. Такой результат, по порядку величины, не противоречил результатам, ранее полученными Д.К.Миллером.

Пожалуй, последней попыткой предпринять поиски эфирного ветра с помощью оптического интерферометра второго порядка, изготовленного по крестообразной схеме Майкельсона, явился эксперимент Г.Йооса 1930 г. [8]. Интерферометр построен оптической фирмой Цейса и обладал расчетной чувствительностью к скорости эфирного ветра около 1000 м/с. Однако рекомендации авторов работы [3] о неприменимости металлических покрытий оптических путей интерферометров учтены не были. Авторы эксперимента [8] тщательно укрыли оптические пути интерферометра металлическими кожухами. Результат эксперимента [8] оказался отрицательным: эфирный ветер не был обнаружен. После эксперимента [8] результаты Д.К.Миллера, по-видимому, и стали считать ошибоч-

ными. Тем не менее, интерес к экспериментальному решению проблемы эфирного ветра сохранился вплоть до наших дней [9–14].

В работе 1933 г. [6, 2], Д.К.Миллер высказал предположение, что причиной неудачных попыток повторить его эксперименты явилось экранирующее действие металлических покрытий оптических путей интерферометров, примененных, например, в экспериментах [8, 15–17]. В экспериментах [4–6] и [7] оптические пути интерферометров не закрывались металлическими кожухами. Отмеченные обстоятельства потребовали более осторожного отношения к выводам работы [18] об общей ошибочности экспериментов Д.К.Миллера, что, в свою очередь, вызвало интерес к их повторению, в том числе с помощью методов измерений первого прядка и различных диапазонов электромагнитных волн. В работах [19–26] предприняты попытки повторить эксперименты Д.К.Миллера в диапазонах радио и оптических волн.

Для измерений параметров движения эфира и свойств эфира в работах [19–26] разработаны методы измерения первого порядка. Методы реализованы в диапазонах радио и оптических волн. Создана экспериментальная база. В диапазонах радио и оптических волн получен статистически значимый объем экспериментального материала. Итоги работ [19–26] сопоставлены с результатами оптических экспериментов Д.К.Миллера [4–6, 2] и А.А.Майкельсона, Ф.Г.Писа, Ф.Пирсона [7]. В работах [19–26] показана наблюдаемость, повторяемость и воспроизводимость итогов экспериментов, полученных разными авторами, в различные годы, в различных географических условиях, с помощью различных методов измерений и различных диапазонов электромагнитных волн. Коэффициенты корреляции, вычисленные между средними результатами, полученными в работах [19–25] в диапазонах радио и оптических волн и средними результатами оптических измерений Д.К.Миллера, лежат в пределах от 0,73 до 0,85. Таким образом, в работах [19–26] удалось экспериментально впервые, с помощью методов измерений первого порядка, в диапазонах радио и оптических волн, подтвердить результаты экспериментальных работ Д.К.Миллера.

Цель настоящей работы – дать обзор результатов экспериментальных исследований [19–26].

Исходная гипотеза

При постановке экспериментов [19–26] в качестве исходной гипотезы применена модель эфира, предложенная и развитая в работах [27, 28]. В модели эфир представлен материальной средой, состоящей из отдельных частиц, которая заполняет все мировое пространство, обладает свойствами вязкого и сжимаемого газа. Физические поля представляют собой различные формы движения эфира. В частности, эфир является средой, ответственной за распространение электромагнитных волн.

В рамках модели [27, 28], в опытах по распространению электромагнитных волн вблизи земной поверхности, могут наблюдаться следующие эффекты эфирного ветра.

Эффект анизотропии – скорость распространения электромагнитных волн зависит от направления излучения, что обусловлено относительным движением Земли (Солнечной системы) и эфира. В рамках модели [27, 28] величина анизотропии равна скорости эфирного ветра.

Эффект высоты – величина анизотропии увеличивается по мере роста высоты над земной поверхностью. В рамках модели [27, 28] проявление эффекта высоты обусловлено взаимодействием потока вязкого эфира с земной поверхностью.

Космический эффект – величина анизотропии изменяет свое значение с периодом в одни звездные сутки. В рамках модели [27, 28] изменение величины анизотропии в масштабе звездного времени обусловлено космическим происхождением эфирного ветра.

Методы и устройства измерений

Радиотехнический метод измерения скорости эфирного ветра

Метод измерения разработан и применен в работах [19–21, 24, 26] и является методом первого порядка, в котором не требуется возвращать излученные радиоволны в исходную точку. Измеряемыми величинами явились: скорость эфирного ветра и вертикальный градиент скорости эфирного ветра. Расчетная чувст-

вительность изготовленного измерительного устройства к скорости эфирного ветра около 108 м/с.

Для разработки метода измерения применены положения модели эфира [27, 28], известные положения принципа взаимности в электродинамике, известные закономерности распространения миллиметровых радиоволн вблизи земной поверхности в пределах прямой видимости и известные закономерности течений вязких сред вблизи поверхности раздела [29, 30]. Действие метода измерения пояснено следующим. Вблизи земной поверхности помещен радиоинтерферометр, в котором радиоволны, излученные передающей стороной, после распространения на разных высотах над земной поверхностью, принимаются приемным устройством, в котором измеряется разность фаз между принятыми волнами. Если радиоинтерферометр поворачивать в потоке эфирного ветра то в рамках исходной гипотезы можно ожидать изменение разности фаз между принимаемыми волнами, пропорциональное скорости эфирного ветра.

В работах [19–21, 24, 26] метод измерения реализован с помощью приземной радиолинии прямой видимости, в которой основным механизмом формирования поля в пункте приема является интерференция прямой волны и волн, отраженных от земной поверхности [31]. Такая радиолиния рассмотрена как радиоинтерферометр, с вертикальным расположением лучей. Чтобы исключить влияние изотропных эффектов, например, влияние вариаций параметров вертикального профиля коэффициента преломления атмосферы и др. на точность измерений скорости эфирного ветра, использованы положения принципа взаимности в электродинамике. Согласно принципу взаимности условия распространения радиоволн из одного пункта радиолинии в другой совершенно таковы, как и в обратном направлении и эта симметрия не зависит от свойств промежуточного пространства, которое лишь предполагается изотропным [29]. Следовательно, если применить радиолинию со встречным распространением радиоволн, то, вычитая результаты одновременного измерения интерференции волн в измерительных пунктах радиолинии, можно исключить влияние изотропных эффектов и, тем самым, выделить искомые эффекты эфирного ветра. В работах [19–21, 24, 26] радиолиния со встречным распространением радиоволн и средствами измерения интерференции радиоволн рассмотрена как радиоинтерферометр для измерения ско-

рости движения эфира вблизи земной поверхности. Разработанный метод измерения нечувствителен к изотропным эффектам и в силу этого не требует применения защитных покрытий путей распространения радиоволн, что дало возможность выполнить рекомендацию авторов работы [3]: "*...кожух аппарата должен быть выполнен из стекла или вообще отсутствовать*". В работах [19–21, 24, 26] защитный кожух путей распространения радиоволн отсутствовал.

Таким образом, процедуры измерения интерференции радиоволн в измерительных пунктах экспериментальной радиолинии, процедуры вычитания результатов одновременного измерения интерференции волн одного из другого, являются процедурами измерения скорости эфирного ветра. В работах [19–21, 24] радиолиния со встречным распространением радиоволн, средствами измерения интерференции радиоволн в пунктах радиолинии и средствами калибровки измерительных устройств, рассмотрена как радиоинтерферометр миллиметровых радиоволн для исследования параметров движения эфира вблизи земной поверхности. Измеряемыми величинами явились: скорость эфирного ветра и вертикальный градиент скорости эфирного ветра. При выполнении эксперимента [19–21, 24] для поворота радиоинтерферометра в потоке эфирного ветра применено суточное вращение Земли. В работах [19–21, 24] изложены теория радиотехнического эксперимента, метрологические свойства изготовленного измерительного устройства и результаты измерений.

В работах [19–21, 24, 26] для построения радиоинтерферометра применены: радиолиния прямой видимости протяженностью $r \approx 13000$ м со встречным распространением радиоволн миллиметрового диапазона (длина волны $\lambda \approx 8 \cdot 10^{-3}$ м) и фазовый способ измерения параметров зондирующих сигналов, принятых в измерительных пунктах радиолинии [32].

На рис. 21.1 показана условная схема эксперимента, проведенного в диапазоне радиоволн [19–21, 24]. Встречное распространение радиоволн в плечах радиоинтерферометра, между измерительными пунктами "**А**" и "**В**", на схеме обозначено стрелками, направленными противоположно. Протяженность радиолинии "**АВ**" = r. В верхнем плече радиоинтерферометра волны распространяются по траектории "**АВ**" на высоте Z_{up}, (встречная волна по траектории

"**ВА**"). В нижнем плече волны распространяются по траектории "**АСВ**" (встречная волна по траектории "**ВСА**"). Точкой "**С**" отмечено место отражения радиоволн от земной поверхности. Средняя высота траектории "**АСВ**" ("**ВСА**") над земной поверхностью равна Z_l. Таким образом, в каждый измерительный пункт "**А**" и "**В**" радиоинтерферометра приходят две волны — прямая и отраженная от земной поверхности. Буквой ψ обозначен угол скольжения.

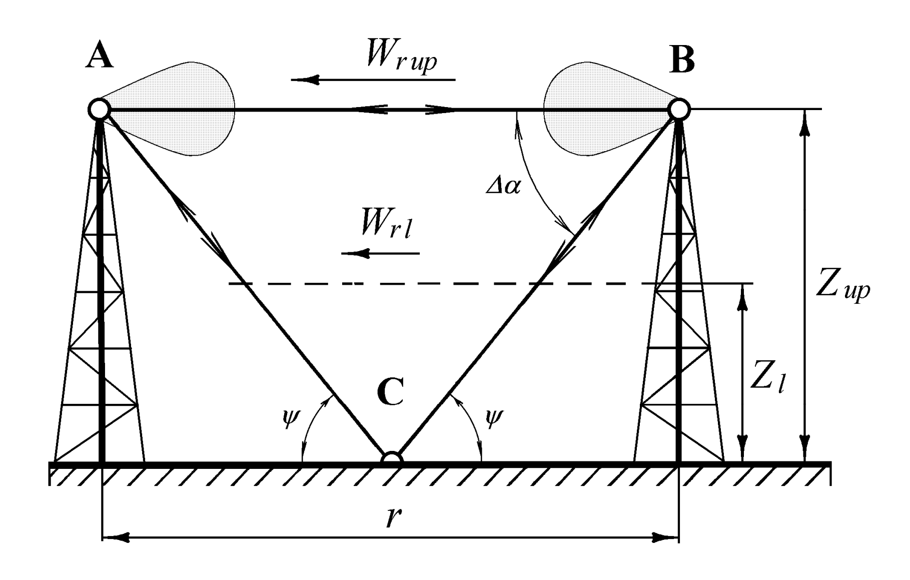


Рис. 21.1. Схема эксперимента в диапазоне радиоволн [24]

На рис. 21.1, для наглядности, вертикальный масштаб растянут, потому углы ψ и $\Delta\alpha$ не отражают действительных значений. Стрелками $W_{r\,up}$ и W_{rl} показаны скорости эфирного ветра, действующие вдоль радиолинии на разных высотах от земной поверхности. Длины стрелок пропорциональны скоростям эфирного ветра на высотах Z_{up} и Z_l (средние высоты над земной поверхностью). Антенны пунктов приподняты над земной поверхностью на высоту $Z_{up} >> \lambda$, где λ – длина волны. Оси диаграмм направленности антенн совпадают с линией "**АВ**".

В каждом из пунктов радиоинтерферометра "**А**" и "**В**" применен фазовый способ измерения интерференции радиоволн [32]. Отличительными особенностями радиотехнического способа измере-

ния, предложенного и использованного в работах [19–21, 24], явились относительная простота реализации, высокая точность измерений и малая чувствительность измерительной системы к изотропным эффектам, в том числе и к изменениям параметров внешней среды. Например, при изменении геометрии измерительной системы, вследствие изменения температуры воздуха на 50°C, погрешность измерения не превышает 0,3% от значения измеряемой величины (расчетное значение).

На рис. 21.2 показан внешний вид измерительного пункта "**А**". Для одновременного приема–передачи непрерывных зондирующих сигналов использовалась одна и та же антенна. На рис. 21.2 это антенна большего диаметра. Антенна меньшего диаметра в этом эксперименте не применялась. Пункт "**А**" расположен на северной окраине г. Харьков. На рис. 21.2 виден контейнер с приемно-передающей аппаратурой. Контейнер укреплен за антенной измерительного пункта "**А**".



Рис. 21.2 Радиотехнический приемно-передающий измерительный пункт "А" в г. Харьков [24, 26]. В эксперименте применялась только антенна большего диаметра

На рис. 21.3 показан внешний вид измерительного приемно-передающего пункта "**В**". Пункт "**В**" расположен в селе Русские Тишки Харьковской области. Приемно-передающее устройство и антенна пункта "**В**" установлены на кровле здания, как показано стрелкой на рис. 21.3. Контейнер с приемно-передающей аппаратурой укреплен за антенной измерительного пункта "**В**". Для одновременного приема-передачи непрерывных зондирующих сигналов в пункте "**В**" также использовалась одна и та же антенна. В измерительных пунктах применены идентичные приемо-передающие зеркальные антенны с диаграммами направленности шириной ≈ 0,5°.



Рис. 21.3 Радиотехнический приемно-передающий измерительный пункт "В" в селе Русские Тишки [24, 26]

Антенна пункта "**А**", в месте своего размещения, поднята на 30 м от поверхности земли, а антенна пункта "**В**" поднята на 12 м. Средняя высота траектории "**АВ**" над поверхностью земли, с учетом рельефа местности, составила около 42 м. Автоматизированная измерительная система прошла лабораторные и натурные испытания.

Эксперимент в диапазоне радиоволн выполнен вблизи г. Харьков на протяжении 13 месяцев с августа 1998 г. по август

1999 г. [19–21, 24]. Измерения, выполнялись, как правило, непрерывно и круглосуточно.

Оптический метод измерения скорости эфирного ветра и кинематической вязкости эфира.

Метод измерения разработан и применен в работах [22, 23, 25, 26] и является методом первого порядка, в котором не требуется возвращать излученный свет в исходную точку. Измеряемыми величинами явились: скорость эфирного ветра, кинематическая вязкость эфира и вертикальный градиент скорости эфирного ветра. Расчетная чувствительность изготовленного измерительного устройства к скорости эфирного ветра — около 26 м/с.

Для разработки оптического метода измерения использованы следующие положения модели [27, 28]: эфир обладает свойствами обычных газов; эфир является средой, ответственной, в частности, за распространение света. В свою очередь, это означает, в частности, следующее: для эфира применимы известные законы гидродинамики, скорость света относительно наблюдателя является суммой векторов скорости света относительно эфира и скорости эфира относительно наблюдателя. Использовано предположение Д.К.Миллера, высказанное в работе [6], об экранирующем действии металлических покрытий оптических интерферометров, примененных, например, в экспериментах [8, 15]. Это дало возможность предпринять попытку построить оптический интерферометр, в котором один луч света проходит внутри отрезка полой металлической трубы, а другой луч – вне этой трубы, во внешнем потоке эфира. В работах [22, 23, 25] действие такого оптического интерферометра с трубой пояснено следующим.

Поместим интерферометр в потоке эфира так, что продольная ось трубы перпендикулярна вектору скорости потока. В этом случае оба открытых конца трубы находятся в одинаковых условиях по отношению к внешнему потоку эфира. Перепада давления эфира на концах трубы не возникает, и эфир внутри трубы неподвижен. Теперь повернем трубу так, что вектор скорости потока эфира направлен вдоль оси трубы. В этом случае скоростной напор эфира создаст на концах трубы перепад давления, под действием которого в трубе развивается течение эфира. Можно ожидать, что с помощью предложенного интерферометра на протяжении времени

развития в отрезке трубы движения эфира, можно наблюдать смещение полос интерференционной картины, относительно их начального положения. При этом максимальное значение смещения полос интерференционной картины пропорционально скорости внешнего потока эфира, а время возврата полос к их начальному положению пропорционально значению кинематической вязкости эфира.

В работах [22, 23, 25] изложены теория оптического эксперимента, методики проведения измерений и обработки результатов измерений, рассмотрены возможные источники ошибок измерений и оценены их величины, показана устойчивость оптического интерферометра к механическим воздействиям и к изменениям параметров внешней среды. Следует подчеркнуть, что, при прочих равных условиях, чувствительность изготовленного интерферометра первого порядка к скорости эфирного ветра выше на 5–6 порядков по сравнению с оптическим интерферометром Майкельсона (второго порядка). Это существенно повысило точность и достоверность результатов измерений. (См. ниже раздел «эффект высоты».)

На рис. 21.4 представлена схема оптического интерферометра первого порядка с трубой, и отмечены его основные узлы: 1 — осветитель; 2 — отрезок металлической трубы; 3 — окуляр со шкалой; P_1, P_2 — плоскопараллельные полупрозрачные пластины; M_1, M_2 – зеркала [22, 23, 25]. Ход лучей показан толстыми линиями со стрелками. Плоскость рис. 21.4 представляет горизонтальную плоскость прибора. Один из лучей света проходит вдоль оси трубы и показан на рисунке пунктирной линией. Длина трубы $l_p \approx P_1M_2$. Узлы P_1, M_1 и P_2, M_2 устанавливаются попарно параллельно. Расстояния $P_1M_1 = M_2P_2 = l_1$, $M_1P_2 = P_1M_2 \approx l_p$. Узлы M_1 и M_2 устанавливаются друг относительно друга на малый угол. Углы между нормалями к плоскостям зеркал M_1, M_2 и лучами, падающими на них, обозначены буквами i_1, i_2. Углы i_1, i_2 устанавливаются при настройке интерферометра так, чтобы в окуляре 3 наблюдалась интерференционная картина.

Узлы настройки на схеме условно не показаны. Если не учитывать движение эфира, то действие интерферометра сводится к следующему. Луч света разделяется пластиной P_1 на два луча, которые после отражения от зеркал M_1 и M_2 и прохождения пластины P_2 оказываются параллельными. Семейство стрелок в правой части рис. 21.4 обозначает движение эфира справа налево со скоро-

стью W_h. Если интерферометр поместить на горизонтальном вращающемся основании, то такой прибор можно поворачивать в потоке эфира. Ось вращения перпендикулярна плоскости рисунка и обозначена как A_i.

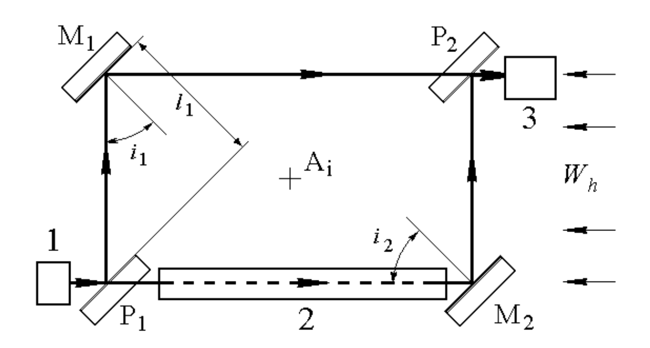


Рис. 21.4. Схема оптического интерферометра с трубой [22, 23, 25]

Схематический рисунок изготовленного оптического интерферометра показан на рис. 21.5 [22, 23, 25]. Плоскость рис. 21.5 представляет горизонтальную плоскость. На рис. 21.5 сохранены обозначения узлов, принятые на рис. 21.4. Дополнительно показаны: 8 — рама интерферометра; 4, 5 — узлы настройки интерферометра; 6, 7 — стойки для крепления полупрозрачных пластин и зеркал; 9 — источник питания осветителя; 10 — включатель осветителя; 11 — узел крепления окуляра; 12 — теплоизолирующий кожух (разрез); 13 — съемная стенка кожуха со стороны окуляра. Все узлы интерферометра укреплены на раме 8.

Рама 8 изготовлена из стального профиля П — образного сечения. На стойках 6 и 7, в точках P_1, P_2, установлены полупрозрачные пластины, в точках M_1, M_2 — зеркала. В изготовленном интерферометре, в качестве полупрозрачных пластин, использованы плоскопараллельные стекла. Стекла и зеркала удерживаются на стойках 6 и 7 с помощью пружин. Стекла, зеркала и узлы их крепления на рис. 21.5 условно не показаны. Узлы 4 и 5 позволяют изменять положение стоек 6 и 7 в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Труба 2 стальная. Узлы крепления трубы условно не показаны. В качестве осветителя применен полупроводниковый лазер. Опти-

ческие пути параллельны плоскости рамы 8. Окуляр 3 со шкалой позволяет измерить смещение полос интерференционной картины.

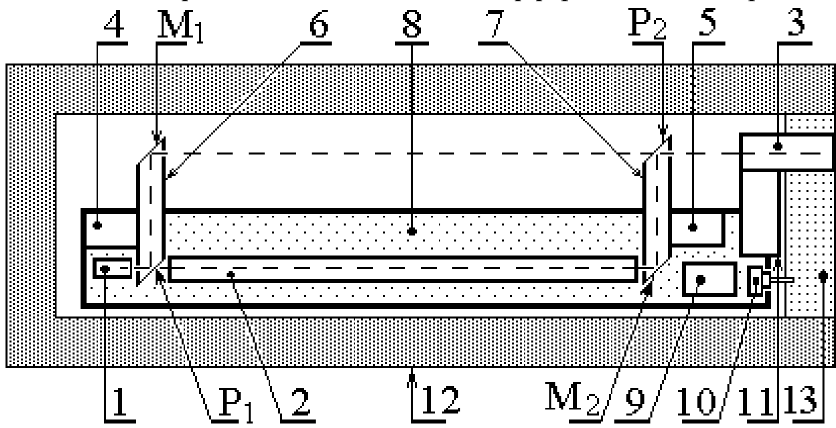


Рис. 21.5. Конструкция оптического интерферометра [22, 23, 25]

На рис. 21.6 представлен фотоснимок изготовленного интерферометра [23]. Верхняя часть кожуха снята. На фотоснимке видны: отрезок металлической трубы 2, окрашенный белой краской; рама 8; стойки 6, 7; окуляр 3. Кожух 12 изготовлен из жесткого вспененного теплоизоляционного материала. В поперечном сечении кожух представляет собой трубу прямоугольного сечения. Толщина стенок кожуха — 0,06 м.

На рис. 21.7 показан фотоснимок интерферометра в рабочем положении. Интерферометр установлен на высоте 4,75 м от земной поверхности [23].

На снимке, снизу вверх, показаны: треножная опора, круг поворотного устройства, предметный стол и интерферометр в защитном кожухе. При выполнении измерений на высоте 1,6 м штатив с интерферометром устанавливался на грунт.

Повороты интерферометра выполнялись с помощью поворотного устройства, расположенного между предметным столом и опорой. Конструкция опоры обеспечивает установку интерферометра в горизонтальном положении.

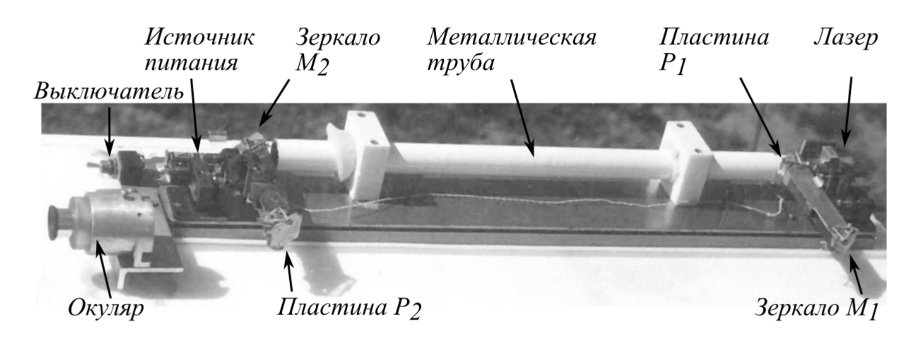


Рис. 21.6. Фотоснимок интерферометра [23]

В работах [22, 23, 25] рассмотрены особенности действия изготовленного оптического интерферометра. Так, в отличие от схемы, приведенной на рис. 21.4, реальная конструкция, показанная на рис. 21.5 – рис. 21.7, содержит защитный кожух 12, который существенно влияет на действие интерферометра. В работах [22, 23, 25] предпринята попытка рассмотреть движение эфира сквозь пористый диэлектрический материал кожуха 12, что дало возможность применить для анализа течений эфира в стенках кожуха положения теории фильтрации [30]. Показано, что решение такой задачи позволило априори вычислить конструктивные параметры разрабатываемого устройства и его метрологические свойства [22, 23, 25]. В работах [22, 23, 25] приведено решение задачи о развитии во времени течений эфира в трубах интерферометра и изменение величины смещения полос интерференционной картины во времени. Результаты испытаний изготовленного оптического интерферометра не противоречат результатам расчетов.

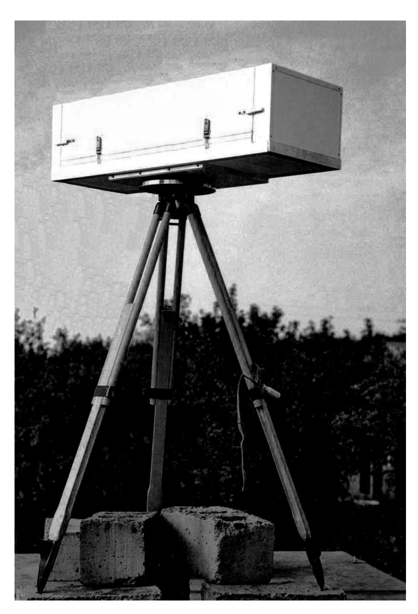


Рис. 21.7. Оптический измерительный пункт.

В работах [22, 23, 25] изложены этапы испытаний оптического

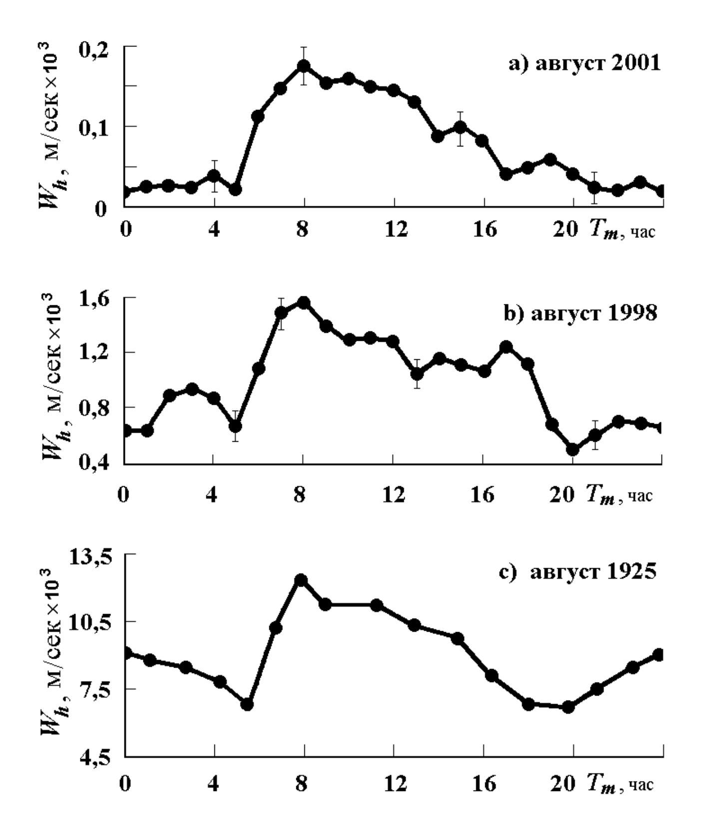


Рис. 21.8. Изменение скорости эфирного ветра в течение суток в эпоху августа по данным различных экспериментов:

а) эксперимент в оптическом диапазоне волн [22, 23, 25, 26], г. Харьков, Украина; b) эксперимент в диапазоне радиоволн [19–21, 24, 26], г. Харьков, Украина; c) Д.К.Миллер, эксперимент в оптическом диапазоне волн [4–6], Маунт Вилсон, США

интерферометра и результаты испытаний. В настоящей работе добавим следующее. Так, например, на фрагментах рис. 21.8а и рис. 21.10а настоящей работы показано, что скорость эфирного ветра изменяется в течение суток. Систематические экспериментальные исследования показали, что в части суток эфирный ветер инструментально не наблюдается, например, в силу ограниченной

чувствительности интерферометра. Такие особенности движения эфира вблизи земной поверхности дали возможность экспериментально показать устойчивость изготовленного интерферометра к изменению внешней температуры окружающего воздуха и к предполагаемым движениям воздуха внутри интерферометра. В этих условиях, при отсутствии движения эфира, вращение и повороты интерферометра, выполняемые в рамках предусмотренных методикой измерений, не приводили к заметным смещениям полос интерференционной картины. Таким образом, экспериментально показано, что предполагаемые помехи не приводят к заметным ошибкам измерений.

В работах [19–25] изложены теории экспериментов, методы и средства измерений, методики измерений и обработки результатов измерений, рассмотрены возможные источники ошибок измерений и оценены их величины, показана устойчивость измерительных устройств к изменениям параметров внешней среды. Измерительные устройства прошли всесторонние лабораторные и натурные испытания. В работах [19–25] показано, что чувствительность примененных измерительных средств к ожидаемым эффектам эфирного ветра, по сравнению с интерферометром Майкельсона, при прочих равных условиях, существенно выше, что значительно повысило точность и достоверность результатов экспериментальных исследований.

Результаты экспериментальных исследований

Эффект анизотропии

Результаты экспериментальных исследований представлены в работах [19–26]. В диапазоне радиоволн исследования выполнены на протяжении 13 месяцев, с августа 1998 г. по август 1999 г. включительно [19–21, 24, 26]. В оптическом диапазоне волн исследования выполнены также на протяжении 13 месяцев, с августа 2001 г. по август 2002 г. включительно [22, 23, 25, 26].

На протяжении 26 месяцев, в диапазонах радио и оптических волн, получены статистически значимые объемы результатов измерений. В работах [22, 23, 25, 26] выполнено сопоставление результатов исследований, полученных в диапазонах радио и оптических волн с результатами оптических экспериментов Д.К.Миллера

1925 – 1926 гг. [4–6] и А.А.Майкельсона, Ф.Г.Писа, Ф.Пирсона 1929 г. [7].

На рис. 21.8 представлены средние результаты трёх различных экспериментов, выполненных в разные годы в эпоху августа. (Термин "эпоха" заимствован из астрономии, в которой наблюдения разных лет, выполненные в одноименные месяцы, относят к наблюдениям одной эпохи.) По осям ординат отложены значения горизонтальной составляющей скорости эфирного ветра W_h в м/с. По осям абсцисс – солнечное время T_m в часах. На фрагментах рис. 21.8a и рис. 21.8b вертикальными штрихами обозначены доверительные интервалы, вычисленные с надежностью оценки равной 0,95.

На верхнем фрагменте рис. 21.8a представлены результаты оптического эксперимента, которые получены в августе 2001 г. вблизи г. Харьков, Украина [22, 23, 25, 26]. На фрагменте рис. 21.8b представлены результаты эксперимента, которые получены в диапазоне миллиметровых радиоволн в августе 1998 г., вблизи г. Харьков, Украина [19–21, 24, 26].

На нижнем фрагменте рис. 21.8c представлены результаты оптического эксперимента Д.К.Миллера, которые получены в августе 1925 г. на обсерватории Маунт Вилсон, США [4–6]. Все представленные на рис. 21.8 положительные результаты измерений иллюстрируют проявление искомого эффекта анизотропии. В оптическом эксперименте первого порядка, выполненном в работах [22, 23, 25, 26] и в оптических экспериментах второго порядка Д.К.Миллера, выполненном в работах [4–6], эффекты анизотропии измерены оптическими интерферометрами, которые поворачивались в потоке эфирного ветра с помощью механических поворотных устройств. В эксперименте первого порядка, выполненном в диапазоне радиоволн в работах [19–21, 24], эффекты анизотропии измерены радиоинтерферометром, который стационарно установлен на земной поверхности и поворачивался в потоке эфирного ветра за счет суточного вращения Земли.

На рис. 21.8 показано, что результаты трёх различных экспериментов, полученные в разные годы, разными авторами, объединяет сходный характер изменения скорости эфирного ветра в течение суток в эпоху августа. Сопоставление результатов экспериментов показало воспроизводимость и повторяемость эффектов эфирного

ветра, измеренных в разные годы, в различных экспериментах, в разных диапазонах электромагнитных волн и в различных географических условиях, выполненных разными авторами с помощью различных методов измерений. Коэффициенты корреляции, вычисленные между результатами измерений, представленными на рис. 21.8, лежат в пределах от 0,73 до 0,85 [19-25].

Если рассматривать фрагменты рис. 21.8 последовательно сверху вниз, то рис. 21.8 иллюстрирует также и проявление искомого эффекта высоты, что может быть объяснено вязкостью эфира. Приведенные на рис. 21.8 результаты получены на высотах 1,6 м, 42 м и 1830 м соответственно. Максимальные значения скоростей эфирного ветра увеличиваются, по мере роста высоты, от 200 м/с до 13000 м/с.

Ниже, в разделе, "эффект высоты", показано, что на высотах до 2 м над земной поверхностью скорость эфирного ветра не превышает 200 м/с. Такой результат исключает практическую возможность изучения вблизи земной поверхности параметров движения эфира методами второго порядка, например, интерферометром Майкельсона.

Эффект высоты

Следующий рис. 21.9 дает представление об изменении скорости эфирного ветра в диапазоне высот над земной поверхностью от 1,6 метра до 1830 метров. Для построения рис. 21.9 использованы максимальные значения скорости эфирного ветра, измеренные в работах [22, 23, 25, 26], [19–21, 24, 26], [4–6], [7] на разных высотах от земной поверхности. Рис. 21.9 выполнен в логарифмическом масштабе.

По осям абсцисс и ординат отложены значения логарифмов отношений величин W_h/W_* и Z/Z_* соответственно, где W_h – скорость эфирного ветра, Z – высота над земной поверхностью. Значения величин W_* и Z_* приняты равными 1 м/с и 1 метр соответственно. Для наглядности, на рис. 21.9 по осям координат отложены значения величин W_h в м/с и Z в метрах соответственно. На рис. 21.9 первые две отметки снизу, обозначенные полностью заштрихованными квадратными элементами, отражают результаты оптического эксперимента первого порядка, полученные на высотах 1,6 м и 4,75 м над земной поверхностью, вблизи г. Харьков [22, 23, 25, 26].

На рис. 21.9 круглым заштрихованным элементом отмечен результат эксперимента первого порядка, полученный в диапазоне радиоволн на высоте 42 м вблизи г. Харьков [19–21, 24, 26]. Следующими двумя не заштрихованными элементами, показаны: результаты оптических экспериментов второго порядка Д.К.Миллера, полученные совместно с Э.В.Морли в работе [4–6, 2] вблизи г. Кливленд на высоте 265 м, и полученные в работах [4–6, 2] на высоте 1830 м, на обсерватории Маунт Вилсон. Элементом, заштрихованным крестом, показан результат измерения скорости эфирного ветра, который был получен в эксперименте [7], выполненном в 1929 г. А.А.Майкельсоном, Ф.Г.Писом, Ф.Пирсоном там же, в обсерватории Маунт Вилсон, на высоте 1830 м. На рис. 21.9 показано, что результаты различных экспериментов подчиняются единой закономерности. В диапазоне высот от 1,6 м до 1830 м скорость эфирного ветра увеличивается, с ростом высоты над земной поверхностью, в пределах от 200 м/с до 10000 м/с, что иллюстрирует проявление искомого эффекта высоты. Результаты экспериментов, представленные на рис. 21.9, не противоречат известным закономерностям течений вязких сред вблизи поверхности раздела [30, 33] и модели вязкого газоподобного эфира [27, 28].

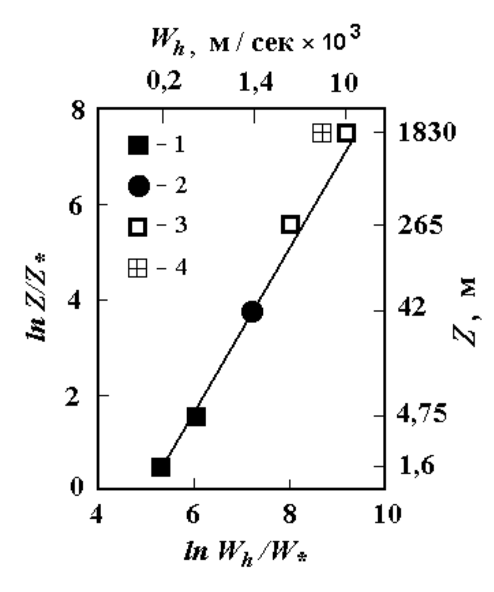


Рис. 21.9. Результаты измерений скорости эфирного ветра на разных высотах над земной поверхностью (по данным различных экспериментов):

1 – эксперимент в оптическом диапазоне волн [22, 23, 25, 26], г. Харьков, Украина; 2 – эксперимент в диапазоне радиоволн [19–21, 24, 26], г. Харьков, Украина; 3 – Д.К.Миллер, оптические эксперименты [4–6], г. Кливленд, Маунт Вилсон, США; 4 – А.А.Майкельсон, Ф.Г.Пис, Ф.Пирсон, оптический эксперимент [7], Маунт Вилсон, США

На рис. 21.9 показано, что вблизи земной поверхности скорость эфирного ветра относительно мала, и не превышает 200 – 400 м/с. Такие результаты измерений исчерпывающе объясняют причину "нулевых результатов" первых экспериментальных работ А.А.Майкельсона 1881 г. [1, 2] и А.А.Майкельсона, Э.В.Морли 1887 г . [3, 2]. В работах [1] и [3] чувствительности примененных измерительных устройств были недостаточными. В работах [22, 23, 25], показано, что для измерения скоростей эфирного ветра в диапазоне 200 – 400 м/с, с помощью оптического интерферометра второго порядка, конструкции А.А.Майкельсона, необходим интерферометр второго порядка с геометрической длиной лучей света более 50000 м (пятидесяти тысяч метров !!!), что технически нереализуемо. Недостаточная чувствительность оптических интерферометров второго порядка, примененных в экспериментах А.А.Майкельсона [1] и А.А.Майкельсона, Э.В.Морли [3] и других авторов, применявших такие интерферометры, явились основной причиной, не позволившей обнаружить движение эфира в опытах, выполненных вблизи земной поверхности. Для изучения параметров движения эфира вблизи земной поверхности приемлемы только методы первого порядка.

Космический эффект

Для обнаружения искомого космического эффекта, результаты систематических экспериментальных исследований, полученные в диапазонах радио и оптических волн, подвергнуты статистической обработке в масштабе звездного времени. Результаты такой обработки показаны на рис. 21.10.

На фрагментах рис. 21.10 по осям абсцисс отложены значения звездного времени S в часах, по осям ординат – значения скорости эфирного ветра W_h в м/с. На каждом из фрагментов рис. 21.10 показан средний суточный ход скорости эфирного ветра в течение звездных суток $W_h(S)$. Вертикальными штрихами на фрагментах обозначены доверительные интервалы, которые вычислены с надежностью оценки 0,95.

Верхний фрагмент, 21.10а, представляет средний результат оптического эксперимента, который проведен на протяжении пяти месяцев года, с сентября 2001 г. по январь 2002 г. [22, 23, 25, 26]. Каждая точка, обозначенная на рис. 21.10а, в среднем обеспечена

97 отсчетами измеряемой величины (всего 2322 отсчета). Нижний фрагмент, рис. 21.10b, представляет средний результат эксперимента, выполненного в диапазоне радиоволн на протяжении пяти месяцев года, с сентября 1998 г. по январь 1999 г. [19–21, 24, 26]. Каждая точка, обозначенная на рис. 21.10b, в среднем обеспечена 54 отсчетами измеряемой величины (всего 1288 отсчетов).

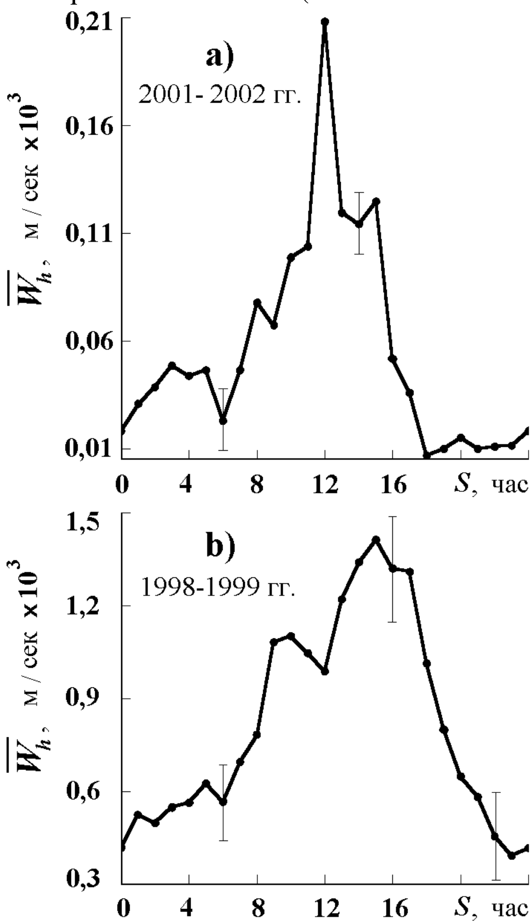


Рис. 21.10 Средний суточный ход скорости эфирного ветра в течение звездных суток: a) – оптический эксперимент [22, 23, 25, 26], b) – эксперимент в диапазоне радиоволн [19–21, 24, 26]

Представленные фрагменты имеют формы периодически изменяющихся величин, с периодами, равными одним звездным суткам, что может быть объяснено космическим происхождением эфирного ветра. Отличия в формах кривых могут быть объяснены в рамках представления об обтекании потоком вязкого эфира элементов рельефа местности, которые в этих различных экспериментах имели отличающиеся характеристики.

Кинематическая вязкость эфира

В работах [22, 23, 25] предприняты попытки вычислить и экспериментально, в натурных условиях, измерить значение кинематической вязкости эфира. Априорные сведения о значении кинематической вязкости эфира требовались для расчета конструкции оптического интерферометра и метрологических свойств изготовленного устройства. В работах [22, 23, 25] для вычисления кинематической вязкости эфира использованы предложенные в работах [27, 28] представления об образовании фотона. Кинематическая вязкость эфира, вычисленная, исходя из такого предположения, получила значение $7\cdot10^{-5}$ м^2/с [22, 23, 25]. Результат вычисления показал, что кинематические свойства эфира не отличаются от кинематических свойств известных газов, что не противоречат представлениям автора работ [27, 28] об эфире, как о газо-подобной среде.

Теория эксперимента [22, 23, 25], развитая в рамках классической гидродинамики и изготовленное оборудование, позволили впервые предпринять попытку экспериментально измерить значение кинематической вязкости эфира. Для проведения измерения кинематической вязкости разработан и применен метод прямого измерения, основанный на известных закономерностях развития течений вязких жидкостей и газов в трубах [30, 33].

Систематические экспериментальные исследования выполнены в натурных условиях вблизи земной поверхности. Измеренное значение кинематической вязкости эфира оказалось равным $6{,}24\cdot10^{-5}$ м^2/с, что примерно на 10% отличалось от вычисленного значения. Таким образом, результаты расчетов и измерений, выполненные в работах [22, 23, 25], не противоречат представлениям работ [27, 28] о свойствах эфира.

Основные результаты работ [19–26]:

1. Разработан радиотехнический метод первого порядка для измерений скорости эфирного ветра и вертикального градиента скорости эфирного ветра. Метод измерения реализован в диапазоне миллиметровых радиоволн ($\lambda \approx 8\cdot 10^{-3}$ м). Чувствительность изготовленного радиотехнического измерительного устройства к скорости эфирного ветра ≈ 108 м/с (расчетное значение).

2. Разработан оптический метод первого порядка для измерений скорости эфирного ветра. Метод реализован в оптическом диапазоне электромагнитных волн ($\lambda \approx 6{,}5\cdot 10^{-7}$ м). Чувствительность изготовленного оптического измерительного устройства к скорости эфирного ветра ≈ 26 м/с (расчетное значение).

3. Выполнены систематические экспериментальные исследования скорости эфирного ветра с помощью радиотехнического метода измерения первого порядка. Экспериментальные исследования выполнены на протяжении 13 месяцев.

4. Выполнены систематические экспериментальные исследования скорости эфирного ветра с помощью оптического метода измерения первого порядка. Экспериментальные исследования выполнены на протяжении 13 месяцев.

5. Вычислено значение кинематической вязкости эфира $\nu_c \approx 7\cdot 10^{-5}$ м^2/с .

6. Разработан и реализован оптический метод измерения кинематической вязкости эфира.

7. Впервые измерено значение кинематической вязкости эфира $\nu_e \approx 6{,}24\cdot 10^{-5}$ м^2/с.

8. Впервые, экспериментально, показана зависимость скорости эфирного ветра от высоты над земной поверхностью. С учетом измерений Д.К.Миллера [4–6] и А.А.Майкельсона, Ф.Г.Писа, Ф.Пирсона [7], показано, что в диапазоне высот от 1,6 м до 1830 м скорость эфирного ветра растёт от 200 м/с до 10000 м/с. Результаты экспериментов [19–26], [4–6], [7] подчиняются единой закономерности и не противоречат представлениям модели [27, 28] о течении вязкого газоподобного эфира вблизи земной поверхности.

9. Впервые экспериментально, методами измерений первого порядка, показано, что на высотах до 5 м над земной поверхностью скорости эфирного ветра не превышают 200 – 400 м/с. Измеренные

параметры движения эфира исключают практическую возможность изучения вблизи земной поверхности движений эфира методами второго порядка, например, интерферометром Майкельсона.

10. Впервые экспериментально, в диапазонах радио и оптических волн, методами измерений первого порядка, подтверждены результаты оптических экспериментов Д.К.Миллера [4–6]. Коэффициенты корреляции, вычисленные между результатами работ [19–26] и результатами оптических измерений Д.К.Миллера [4–6], лежат в пределах от 0,73 до 0,85, что может служить основанием для положительной оценки достоверности экспериментов Д.К.Миллера.

11. Итоги экспериментов первого порядка, полученные в диапазонах радио и оптических волн, сопоставлены с итогами оптических экспериментов Д.К.Миллера [4–6], и А.А.Майкельсона, Ф.Г.Писа, Ф.Пирсона [7]. Впервые экспериментально показаны наблюдаемость, воспроизводимость и повторяемость эффектов эфирного ветра в экспериментах, проведенных в различных географических условиях, различными авторами с помощью разных методов измерений и разных диапазонов электромагнитных волн, что дало основание положительно оценивать достоверность результатов сопоставленных экспериментов [19–26], [4–6], [7]. Результаты работы не противоречат положениям исходной гипотезы и могут рассматриваться как экспериментальное подтверждение представлений о существовании в природе эфира – материальной среды, ответственной, в частности, за распространение электромагнитных волн.

Заключение

В диапазонах радио и оптических волн методами измерений первого порядка выполнена экспериментальная проверка гипотезы эфира. Получены статистически значимые результаты экспериментальных исследований. Результаты исследований сопоставлены с итогами предшествующих экспериментальных работ. Показана наблюдаемость, воспроизводимость и повторяемость эффектов эфирного ветра в экспериментах, выполненных в различных географических условиях с помощью различных методов измерений и различных диапазонов электромагнитных волн. Коэффициенты кор-

реляции, вычисленные между результатами сопоставляемых экспериментов, лежат в пределах 0,73 – 0,85, что может служить основанием для положительной оценки достоверности экспериментов. Результаты экспериментальных исследований не противоречат представлениям о существовании в природе эфира как материальной среды, ответственной, в частности, за распространение электромагнитных волн.

Литература

1. ***Michelson A.A.*** The relative motion of the Earth and the Luminiferous ether // The American Journal of Science.– 1881.– III series, Vol.XXII, № 128.– P.120–129.

2. *Эфирный ветер*. Сб. ст. под ред. д.т.н. ***В.А.Ацюковского***.– М.: Энергоатомиздат, 1993.– 289 с.

3. ***Michelson A.A., Morley E.W.*** The relative motion of the Earth and the luminiferous ether // The American Journal of Science. Third Series.– 1887.– Vol .34. – P .333-345. Philosophical Magazine.– 1887.– Vol. 24.– P. 449–463

4. ***Miller D.C.*** Ether–drift experiments at Mount Wilson // Proceedings. Nat. Acad. Sciences.– 1925.– Vol. 11.– P. 306-314.

5. ***Miller D.C.*** Significance of the ether-drift experiments of 1925 at Mount Wilson // Science.– 1926.– Vol. 63, No. 1635.– P. 433-443.

6. ***Miller D.C.*** The ether–drift experiment and the determination of the absolute motion of the Earth // Reviews of Modern Physics.– 1933.– Vol. 5, № 3.– P. 203-242.

7. ***Michelson A.A., Pease F.G., Pearson F.*** Repetition of the Michelson – Morley experiment // Journal of the Optical Society of America and Review of Scientific Instruments.– 1929.– Vol.18, № 3.– P.181–182.: also in Nature.– 1929.– 19 Jan.– P.88.

8. ***Joos G.*** Die Jenaer Widerholung des Mihelsonversuchs. // Annalen der Physik.– 1930.– Folge 5, Band 7, S.385–407.

9. ***Essen L.*** A new ether drift experiment // Nature.– 1955.– Vol.175.– P.793–794.

10. ***Cedarholm J.P., Bland G.F., Havens B.L., Townes C.H.*** New experimental test of spesial relativity // Phys. Rev. Letters.– 1958.– Vol.1, No.9.– P.342–349.

11. ***Cyampney D.C., Isaac G.P., Khan M.*** An ether drift experiment based on the Mössbauer effect // Phys., Letters.– 1963.– Vol.7.– P.241–243.

12. ***Рагульский В.В.*** Экспериментальное исследование оптической изотропии пространства // Успехи физических наук.– 1997.– Т.167, №9.– С.1022–1024.

13. ***Малыкин Г.Б.*** О возможности экспериментальной проверки второго постулата специальной теории относительности // Успехи физических наук.– 2004.– Т.174, №7.– С.801–804.

14. ***Antonioni P., Okhapkin M., Goklu E. and Schiller S.*** Test of Constancy of Speed of Light with Rotating Cryogenic Optical resonators // Physical Review.– 2005.– Vol.A72.–P.066102.

15. ***Kennedy R.J.*** A refinement of the Michelson – Morley experiment // Proc. Nat. Acad. Sci. of USA.– 1926.– Vol.12.– P.621–629.

16. ***Illingworth K.K.*** A repetition of the Michelson – Morley experiment using Kennedy's refinement // Physical Review.– 1927.– Vol.30.– P.692–696.

17. ***Stahel E.*** Das Michelson – Experiment, ausgefurt im Freiballon // Die Naturwissenschaften, Heft 41.– 1926.– B.8, Nu.10.– S.935–936.

18. ***Shankland R.S., McCuskey S.W., Leone F.C.* and *Kuerti G.*** New Analysis of the Interferometer Observations of Dayton C.Miller // Reviews of Modern Physics.– 1955.– Vol.27, No.2.– P.167–178.

19. ***Галаев Ю.М.*** Эфирный ветер. Эксперимент в диапазоне радиоволн.– Жуковский: Петит, 2000.– 44 с.

20. ***Галаев Ю.М.*** Эффекты эфирного ветра в опытах по распространению радиоволн // Радиофизика и электроника.– Харьков: Институт радиофизики и электроники. НАН Украины.– 2000.– Т5, №1.– С.119–132.

21. ***Galaev Yu.M.*** Etheral wind in experience of millimetric radiowaves propagation // Spacetime & Substance. Kharkov: Research and Technological Institute of Transcription, Translation and Replication.– 2001.– Vol.2 No.5(10).– P.211–225. (Posted to: http://www.spacetime.narod.ru/0010-pdf.zip).

22. ***Galaev Yu.M.*** The measuring of ether-drift velocity and kinematic ether viscosity within optical waves band // Spacetime & Substance.– Kharkov: Research and Technological Institute of

Transcription, Translation and Replication.– 2002.– Vol.3, No.5(15).– P.207-224. (Posted to: http://www.spacetime.narod.ru/0015-pdf.zip).

23. ***Галаев Ю.М.*** Оптический интерферометр для измерения анизотропии скорости света. // Технология приборостроения.– Харьков: Гос. предпр. НИИТП– 2006.– №2.– С.8–21.

24. ***Галаев Ю.М.*** Интерферометр миллиметрового диапазона радиоволн для исследования изотропии пространства вблизи земной поверхности. // Технология приборостроения.– Харьков: Гос. предпр. НИИТП.– 2007.– №1.– С.3–16.

25. ***Галаев Ю.М.*** Измерение скорости эфирного ветра и кинематической вязкости эфира оптическим интерферометром.– Харьков: ООО "Инфобанк", 2007.– 44 с.

26. ***Галаев Ю.М.*** Эффекты эфирного ветра в опытах по распространению радио и оптических волн. // Сборник избранных трудов общегородского семинара при Харьковском доме ученых (1997–2004 гг.) Харьков: ООО "Инфобанк".– 2004.– С.214–232.

27. ***Ацюковский В.А.*** Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире.– М.: Энергоатомиздат, 1990.– 280 с.

28. ***Ацюковский В.А.*** Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. Издание второе.– М.: Энергоатомиздат, 2003.– 584 с.

29. ***Никольский В.В., Никольская Т.И.*** Электродинамика и распространение радиоволн.– М.: Наука, 1989.– 544 с.

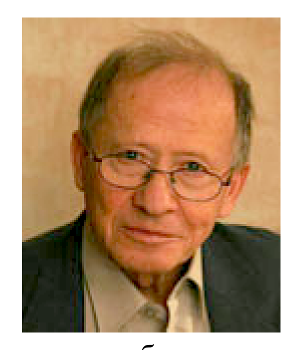
30. ***Лойцянский Л.Г.*** Механика жидкости и газа.– М.: Наука, 1973.– 848 с.

31. ***Калинин А.И., Черенкова Е.Л.*** Распространение радиоволн и работа радиолиний.– М.: Связь, 1971.– 440 с.

32. ***Галаев Ю.М., Жуков Б.В.*** // А.с.1337829 СССР, МКИ^4 G01R29/00. Способ измерения характеристик радиотрактов / Бюл. из.– 1987.– № 34.– С.183.

33. ***Слезкин Н.А.*** Динамика вязкой несжимаемой жидкости.– М.: Гостехиздат, 1955.– 520 с.

22. Штырков Е.И. Обнаружение влияния движения Земли на аберрацию электромагнитных волн от геостационарного спутника — новая проверка специальной теории относительности (2007)



Штырков Евгений Иванович,
Казанский государственный университет

При слежении за геостационарным спутником обнаружено влияние движения Земли на аберрацию электромагнитных волн от источника, установленного на спутнике. Это дало возможность измерить параметры абсолютного движения Земли и Солнечной системы без применения астрономических наблюдений за звездами. Полученные значения орбитальной компоненты скорости Земли (29,4 км/с), прямого восхождения апекса Солнца (270 град) и его склонения (89.5 град), а также скорости абсолютного движения Солнечной системы (600 км/с) согласуются с известными в наблюдательной астрономии. Такой результат является прямым доказательством того, что скорость равномерно движущейся лабораторной системы координат (в нашем случае Земли) реально может быть измерена при помощи устройства, в котором источник излучения (геостационарный спутник) и приемник (антенна наземного телескопа) находятся в состоянии покоя относительно друг друга и этой же системы координат. Это говорит о зависимости скорости света, измеряемой наблюдателем в движущейся системе координат, от движения этой системы, что опровергает положенное в основу специальной теории относительности утверждение о такой независимости.

Введение

Опыты с распространением электромагнитного излучения исторически наиболее часто являлись ключевыми для установления природы света и вещества. При этом их постановка была тесно связана с введением понятия некой гипотетической материальной среды с упругими свойствами (эфира), которая, как считали, была необходима для распространения света. Поэтому проблемы электродинамики в движущихся системах координат постоянно были в центре внимания в течение более 150 лет, когда безуспешно пытались обнаружить движение Земли относительно этой среды. Предполагалось, что в соответствии с гипотезой Френеля эфир находится в абсолютном покое и поэтому проходит свободно через любое движущееся в нем тело, в том числе и Землю. Как следствие этого должен иметь место эфирный ветер, скорость которого совпадает по величине с орбитальной скоростью Земли, но имеет противоположное направление. Это обстоятельство дало надежду обнаружить такое движение Земли путем измерений скорости света при различной ориентации прибора в пространстве. В результате опытов необходимо было замерить скорость эфирного ветра и сравнить ее со значениями скорости движения Земли, уже известными из астрономических наблюдений за звездами. Такие попытки с использованием различных эффектов неоднократно предпринимались с начала 19 века (1818 Араго, 1838 Бабинэ, 1859 Физо, 1865 Ангстрем, 1881 Майкельсон, 1887 Майкельсон и Морли, 1921–1925 Миллер, 1926 Пикар и Стаэль, 1955 Ессен, 1959 Таунс и Седархольм, а также мн. др. [1]).

Несмотря на то, что точность измерений была существенно увеличена по сравнению с первыми опытами, результат в основном оставался отрицательным. Однако отсутствие эфирного ветра не было совместимо с данными некоторых экспериментов. В частности, опыты Миллера (1921–1925), по мнению многих, дали положительный результат [2]. Хотя полученный там результат для скорости ветра (примерно 10 км/с) не совпадал с орбитальной скоростью Земли (около 30 км/с), сам факт смещения интерференционных полос из-за изменения ориентации прибора нельзя было игнорировать. Эксперимент был выполнен в обсерватории Маунт-

Вилсон в Калифорнии, расположенной на высоте 1,86 км над уровнем моря, с целью проверки гипотезы Стокса о наличии переходного слоя эфира, увлеченного Землей в ее движении. В соответствии с этой гипотезой вблизи поверхности Земли эфирный ветер ослаблен, либо вообще не существует. Последнее могло бы служить объяснением отрицательного результата многих опытов, выполненных на уровне моря. Эксперимент был повторен позже, в том числе и на больших высотах. В эксперименте Майкельсона, Писа и Пирсона [3], проведенного в 1926–1929 так же в обсерватории Маунт Вилсон, результат Миллера был подтвержден, в других работах – опровергнут [1].

Во всех экспериментах с отрицательным результатом, которые проводились на больших высотах, повышение точности обычно достигалось экранировкой всего прибора от внешних воздействий путем помещения его в термостат. Тем самым не принималась во внимание сама возможность увлечения эфира измерительным прибором, то есть не учитывалась возможная экранировка эфирного ветра прибором. В результате эфир в термостате, в резонаторе, в мазере и других контейнерах мог находиться в покое по отношению к интерферометру, что и могло приводить в таких экспериментах к отрицательному результату при любой точности измерения.

После многих таких безуспешных попыток на конференции в Пасадене [4], посвященной эксперименту Майкельсона–Морли, Г.А. Лоренц сказал: *“…все попытки использования эффектов первого порядка по отношению скорости Земли к скорости света оказались бесплодными. Сюда относятся все случаи, когда астрономы и физики пытались выделить составляющую движения Земли в оптических и электрических явлениях. …Все это вновь и вновь вело к признанию того, что движение Земли никогда не сможет быть обнаружено с помощью эффектов первого порядка. В этом мнении значительно утвердились, когда Эйнштейн развил свою теорию относительности и просто постулировал, что результаты всех экспериментов, которые мы проводим в наших лабораториях, должны быть независимы от движения Земли, каковы бы ни были точности наших измерений и порядок эффектов, которых мы могли бы достичь “* (в переводе В.А. Ацюковского, см. [1]).

Однако недавно во время слежения за поведением спутника на геостационарной орбите равномерное движение Земли было экспе-

риментально обнаружено [5–7] без привлечения астрономических наблюдений за звездами. Было доказано, что движение Земли проявляется в аберрации электромагнитных волн (эффект первого порядка), распространяющихся от источника излучения, который фиксирован относительно земного приемника и самой Земли, что и позволило непосредственно измерить параметры ее движения в пространстве.

Источник находился на геостационарном спутнике, а приемник в антенне наземного радиотелескопа. В такой ситуации, когда спутник неподвижно «висит» над Землей, относительная скорость источника и приемника равна нулю и их координаты (геоцентрическая долгота и широта спутника, а также геодезические координаты телескопа) остаются постоянными в течение долгого времени, т.е. источник и приемник принадлежат одной и той же системе координат (системе Земли). При этом был использован спутник **Intelsat704** (USSPACECOM Catalog No.23461) с восточной долготой 66° и малым наклонением орбиты (0.02°). Суточные регулярные наблюдения в режиме автоматического слежения за этим спутником проводились в Казани (Россия) в разные даты в течение 1997 – 2000 гг. Для сравнения полученных экспериментальных данных с расчетными вычислялись положения спутника в нужные моменты времени при использовании алгоритма, описанного в Intelsat Earth Station Standards (IESS – 412) [8]. Процедура расчета и все условия проведения эксперимента подробно описаны в работе [7].

Обычно с целью устранения расхождений между измеряемым и расчетным положениями спутника, которые вызваны, как считают, дрейфом при калибровке и другими эмпирическими аномалиями, изготовители при монтаже телескопа подправляют индикаторы положения антенны и временную шкалу. Поскольку автор [5–7] ожидал, что хотя бы часть этих аномалий может быть вызвана влиянием движения Земли в пространстве, было решено не устранять их подобной коррекцией, а обратиться к явлению аберрации света, которое было открыто Брадлеем еще в 1728 году и в настоящее время широко используется при наблюдениях звезд и планет.

Звездная и спутниковая аберрация

Предположив, что излучение от любого источника (не только от астрономических тел) должно испытывать такую аберрацию, автор [5] учитывал возможное влияние этого явления при наблюдении спутников. При учете аберрации наблюдатель (антенна) должен фиксировать не фактическое положение спутника (его геоцентрическую долготу и широту), которое точно рассчитывается геометрически, а кажущееся. Эти кажущиеся координаты изменяются из-за суточных и годовых изменений углов аберрации, вызванных сложным движением Земли, что и приводит к дополнительному изменению измеряемых наземной станцией углов (азимута и высоты). В результате этого эксперимента наблюдалось практически полное совпадение полученного среднегодового значения скорости эфирного ветра (29,4км/с) с известной из астрономических наблюдений орбитальной скоростью Земли (29,765 км/с). Этого было вполне достаточно для сделанного заключения о том, что движение Земли действительно может оказывать свое влияние на результат эксперимента, выполняемого на ней, а составляющая ее движения при этом может быть выделена в явлении первого порядка по отношению скорости Земли к скорости света. Такой экспериментальный результат противоречит положению специальной теории относительности о том, что все результаты любых экспериментов, проводимых на Земле с использованием различных эффектов, не зависят от движения Земли. Это и может служить основанием для пересмотра утверждения специальной теории относительности о независимости скорости света от движения наблюдателя.

Для получения такого вывода достаточно было бы ограничиться измерением только орбитальной компоненты движения Земли. Но в работах [5–7] при помощи спутниковой суточной аберрации были также измерены параметры галактической компоненты движения Солнечной системы. На первый взгляд, это действительно может вызывать недоверие, поскольку в астрономии существует мнение о том, что аберрация, обусловленная абсолютным движением, не наблюдаема. Такое мнение о невозможности измерения угла аберрации, вызываемой абсолютным движением Земли, основано на том, что само явление аберрации обычно связывали со звездами, так как источниками излучения всегда при наблюдениях

служили астрономические объекты (звезды, в последнее время и планеты). Здесь общая проблема в том, что излучение от любой звезды испытывает такую аберрацию и поэтому не известно реальное положение звезд на небосводе. Рассчитать это положение невозможно. Поэтому вызванное аберрацией смещение наблюдаемого (кажущегося) положения звезды относительно истинного в случае, если оно не изменяется во времени, просто невозможно заметить. На самом деле общеизвестно, что угол аберрации зависит только от направления наблюдения и параметров сложного движения наблюдателя. Независимость же угла аберрации от движения источника доказана многократно в астрономии на примерах наблюдения за различными звездами. Звезды движутся в абсолютном пространстве с различными скоростями. Поэтому нельзя связывать в одну физическую систему координат эфир и звезды, как это нередко делают. В наблюдательной астрономии используют систему неподвижных звезд в качестве референтной только для удобства расчетов положений остальных объектов, которые находятся ближе к наблюдателю и при своем движении смещаются относительно неподвижных изображений более удаленных звезд. Но раз звезды все имеют разные скорости, то физически не могут составлять одну и ту же систему координат только по той причине, что они кажутся нам неподвижными из-за нашей удаленности от них. И звезды и эфир, который тоже может находиться в движении, существуют в абсолютном пространстве независимо. И будь то стационарная (неподвижный абсолютный эфир) или нестационарная (увлекаемый эфир Стокса) модели эфира, относительные скорости разных звезд всегда различны по отношению к нему и к наблюдателю.

Наблюдатель тоже движется сложным образом в абсолютном пространстве, заполненном движущейся материей в ее различных проявлениях (не возмущенный эфир, его ламинарные потоки и все более плотные эфирные образования — э/м поля, частицы, тела). В системе координат наблюдателя угол аберрации, связанный с абсолютным движением этой системы в пространстве, пропорционален проекции вектора ее скорости на фокальную плоскость телескопа. Эта проекция составляет сумму проекций векторов различных компонент сложного движения наблюдателя в абсолютном пространстве, а значит и эфирного ветра в системе самого наблюдателя. Поэтому проявить себя могут только те компоненты движения,

которые за реальное время, необходимое для наблюдения, могут изменять либо величину своей скорости, либо ее направление. Для конкретной i–компоненты движения величина проекции вектора скорости V_i на фокальную плоскость телескопа равна $V_i \sin \chi_i$, где χ_i — угол между осью телескопа, который нацелен на точку истинного положения источника, и направлением скорости этой компоненты V_i. Для равномерного движения сама величина скорости V_i для любой из компонент остается постоянной. Поэтому аберрацию можно наблюдать только для тех компонент, для которых угол χ_i изменяется за разумное требуемое для измерения время, например, для орбитального движения Земли — полгода. Изменение направления вектора ее орбитальной скорости приводит к тому, что мнимое изображение звезды в течение года описывает замкнутую кривую в фокальной плоскости телескопа вокруг невидимого истинного положения звезды (в общем случае эллипс, а для близких к полюсу эклиптики звезд — почти круг). Это и дает возможность определить истинное положение звезды, а также скорость этой компоненты, если в качестве референтной звезды выбрать одну из звезд, лежащих в плоскости эклиптики, для которой орбитальная аберрация в определенную эпоху равна нулю, например, звезду γ созвездия Девы. Это можно сделать два раза в год (в дни зимнего и летнего солнцестояний), когда наблюдается истинное положение этой звезды из-за того, что в эти дни Земля движется по направлению к ней (зимой) или от нее (летом). Измерение углов между референтной и любой исследуемой (например, γ созвездия Дракона) звездами для этих двух эпох и позволяет определить величину орбитальной скорости Земли. Точное измерение в данном случае возможно лишь потому, что есть точная привязка (истинное положение референтной звезды γ –Девы во время солнцестояний).

Другое дело — измерение аберрации, обусловленной движением Солнца по орбите вокруг центра нашей Галактики. Здесь также можно было бы выбрать референтную звезду, но кроме этого нужно было бы еще знать точное направление вектора скорости Солнца на конкретную эпоху при его движении по орбите вокруг центра нашей Галактики. К тому же еще понадобилось бы более 100 млн. лет наблюдения, чтобы дождаться смены этого направления на противоположное. Это явно не реально для земного наблюдателя. Тем более не реально, используя наблюдения за звездами,

выявить компоненты движения более высокого порядка, например, движение самой Галактики.

Все эти приведенные соображения применимы, когда изучаемыми источниками являются именно звезды с их неизвестными истинными положениями.

Однако, как было доказано экспериментально в [5–7], аберрация может наблюдаться для электромагнитных волн, испускаемых искусственным источником. Принципиальным отличием здесь от звездной аберрации является то, что истинное положение источника, установленного на спутнике Земли, достоверно известно в любой момент времени. Оно точно рассчитывается методами небесной механики, т.е. может служить своеобразным репером. Аберрация же приводит к кажущемуся изменению этого положения, которое и регистрируется телескопом. Это и дает возможность по ней обнаружить абсолютное движение. В случае, когда спутник находится на геостационарной орбите, т.е. «висит» над установленным на Земле телескопом, линия наблюдения (ось телескопа, нацеленного на спутник) неподвижна относительно Земли. Это позволяет круглосуточно производить непрерывное наблюдение. В то же время ориентация этой линии в абсолютном пространстве изменяется в течение суток. Это означает, что углы χ для любой из компонент движения Земли изменяются в течение суток, приводя к появлению суточных аберрационных добавок к реальным координатам спутника. Это дает возможность измерить все отдельные компоненты движения Земли.

Математически это описывается при переходе во вращающуюся экваториальную систему координат, которой и является Земля. В этой системе ось наблюдения неподвижна, а вектора всех компонент движения Земли в течение суток описывают конусы вокруг полярной оси. Подробно их поведение во времени и влияние аберрации на координаты спутника описано в [5–7], где все процессы были привязаны к началу тропического года. Проекции этих векторов на линию, перпендикулярную линии наблюдения, в течение суток изменяются, приводя к суточному периодическому кажущемуся изменению геоцентрической долготы спутника. Это и дало возможность по такому изменению долготы определить орбитальную компоненту скорости Земли. Поскольку вектор апекса Солнечной системы за сутки также описывает конус вокруг полярной оси, это приводит из-за этой компоненты аберрации к посто-

янному смещению геоцентрической широты спутника по сравнению с расчетной. Измерение этих смещений широты и долготы позволило определить проекции вектора апекса на полярную ось и на экваториальную плоскость и по ним найти величину, а также направление вектора галактической компоненты скорости движения Солнечной системы. Вектор апекса Солнца здесь в сумме с орбитальным вектором скорости Земли и представляет собой вектор абсолютного движения Земли.

Динамика поведения кажущегося положения спутника определяется временным поведением аберрационных добавок к его реальной долготе ζ и широте φ. При этом, как было показано в работах [5,7], для геоцентрического наблюдателя они связаны со скоростью эфирного ветра V^e_{orb}, вызванного орбитальным движением Земли, скоростью эфирной компоненты V^e_{apx} из-за абсолютного движения Солнечной системы, склонением δ и прямым восхождением α_{apx} апекса Солнца соотношениями:

$$\begin{bmatrix} \Delta\xi_{orb}(t) = \beta_{orb}\sqrt{1-(\sin\varepsilon\cos\gamma)^2}\cos\omega t \\ \Delta\xi_{apx}(t) = -\beta_{apx}\cos\delta\cdot\sin(\omega t+\gamma-\alpha_{apx}) \\ \Delta\varphi_{orb}(\tau) = \beta_{orb}\sin\varepsilon\cdot\cos\gamma \\ \Delta\varphi_{apx} = \beta_{apx}\sin\delta \end{bmatrix} \qquad (1),$$

где ω — угловая частота вращения Земли, t — солнечное местное время на долготе спутника, $\beta_{orb} = (V^e_{orb}/c)$, $\beta_{apx} = (V^e_{apx}/c)$, ε = 23,45° — угол наклона земной оси к оси эклиптики, c — скорость света, $\gamma = \Omega\tau$ — медленно изменяющаяся в течение года фаза орбитального движения Земли, τ — количество дней от начала нового тропического года (00:00:00 GMT 23 сентября), $\Omega = 2\pi/T$, T = 365,2422 дней — длительность тропического года в нашу эпоху.

Такое поведение аберрации оказывает свое влияние на азимут и высоту (elevation) спутника, т.е. параметры, непосредственно измеряемые телескопом в эксперименте [5,7]. Эти кажущиеся параметры сравнивались с истинными азимутом и высотой, суточное

поведение которых было рассчитано без учета поправок на аберрацию.

Вычисление последних с использованием истинных (не скорректированных при монтаже телескопа) координат наземной станции TAT–01B (49,228° восточной долготы, 55,765° северной широты при высоте станции 0,13 км над уровнем IAU–1976 эллипсоида Земли) показало, что азимут периодически изменяется в фазе с вектором давления солнечного потока. Это ясно видно на рис. 22.1, где приведен пример поведения геодезического азимута как предсказанного (геометрически рассчитанная без учета поправок на аберрацию — нижняя кривая), так и измеряемого (верхняя кривая). По оси абсцисс отложено астрономическое местное (на долготе телескопа) время в часах, а по оси ординат — азимут в градусах.

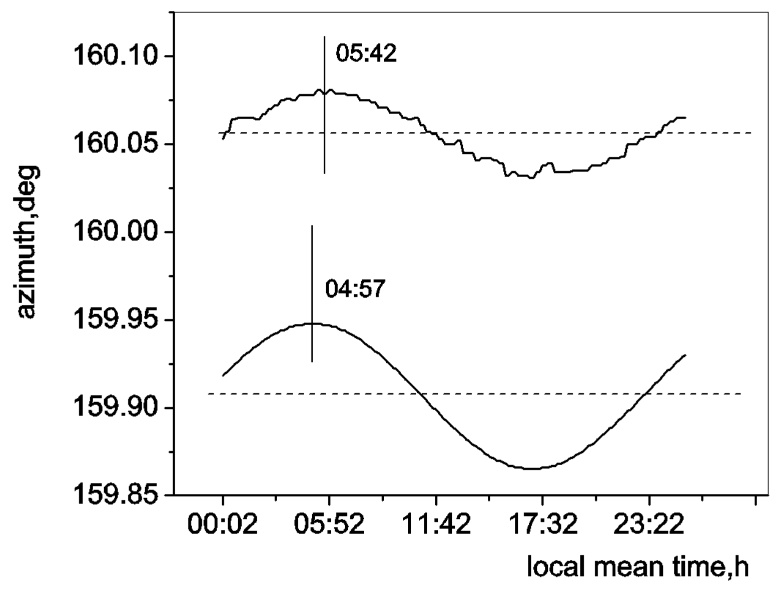


Рис. 22.1. Суточное поведение наблюдаемого и предсказываемого азимута для спутника Intelsat704 на 22 марта 2000 г.

Как видно из рисунка, максимальное значение азимута достигается каждый раз приблизительно в 6 часов утра (на восходе Солнца), когда вектор давления потока излучения от Солнца ортогонален линии наблюдения и восточная долгота спутника достига-

ет минимума, а азимута — максимума. Основными различиями между экспериментом и предсказанием при этом во всех таких наблюдениях были:

- наличие сдвига экспериментальной синусоиды азимута на угол ϑ в область более поздних времен по сравнению с расчетным предсказанием (например, на рис. 22.1 задержка – 44 мин, т.е. $\vartheta = 11°$),
- амплитуда экспериментальной кривой a_{obs} меньше, чем у рассчитанной;
- наличие постоянного пьедестала у экспериментальной кривой как для азимута, так и для высоты.

Как было показано в [5,7] учет влияния аберрации на азимут спутника приводит к следующей связи для амплитуды азимута a_{obs} и сдвига фазы ϑ с параметрами движения Земли и Солнечной системы:

$$a_{obs}\sin\vartheta = q_1[\beta_{orb}\sqrt{1-(\sin\varepsilon\cos\gamma)^2} - p\sin(\gamma-\alpha_{apx})] \qquad (2),$$

где $q_1 = \dfrac{\sin\Phi - \cos\Phi\cos\mathrm{O}\,\mathrm{tg}\varphi}{(\sin\Phi\cos\Xi - \mathrm{tg}\varphi\cos\Phi)^2 + \sin^2\Xi}$ при $\mathrm{O} = \xi - \xi_t$

(ξ_t и Φ — геодезическая долгота и широта телескопа), а $p = \beta_{apx}\cos\delta$ — отношение проекции скорости галактической компоненты движения Солнца на экваториальную плоскость к скорости света в вакууме.

Использование экспериментальных значений a_{obs} и ϑ, измеряемых в различные даты [5], позволило рассчитать орбитальную и галактическую компоненты скоростей движения Земли и Солнечной системы, а также склонение и прямое восхождение апекса Солнца, и затем сравнить их с известными в наблюдательной астрономии значениями. Расчеты проводились численным методом с использованием программы **Mathcad7**. При этом решалась система из трех уравнений типа (2), взятых для трех различных дат [5,7]. С учетом эллиптичности земной орбиты эти даты подбирались таким образом, чтобы в эти эпохи расстояния от Земли до Солнца были бы примерно одинаковы, т.е. орбитальные скорости Земли в эти даты были бы равны.

В результате такой обработки экспериментальных данных, накопленных в течение трех лет (1997–2000гг.), была определена ди-

намика сезонного поведения трех параметров β_{orb}, p и α_{apx}. На рис. 22.2 представлены полученные после нахождения β_{orb} результаты для орбитальной компоненты скорости эфирного ветра.

Каждая точка на графике для конкретной даты является результатом усреднения по всем таким наборам из трех уравнений, в которых была использована эта дата. Как видно из рисунка, поведение измеренных данным методом значений таково же, как для известной в наблюдательной астрономии скорости движения Земли по орбите: их усредненные за год величины (29.4 км/с и 29.765 км/с, соответственно) совпадают с точностью до 1%, а их значения зимой, когда в начале января Земля находится в перигелии, слегка выше среднего, а летом (афелий в конце июня), соответственно, ниже. При точности измерения a_{obs} и ϑ порядка 10% такая высокая степень совпадения среднегодовых значений скорости определяется усреднением по большому объему полученных результатов.

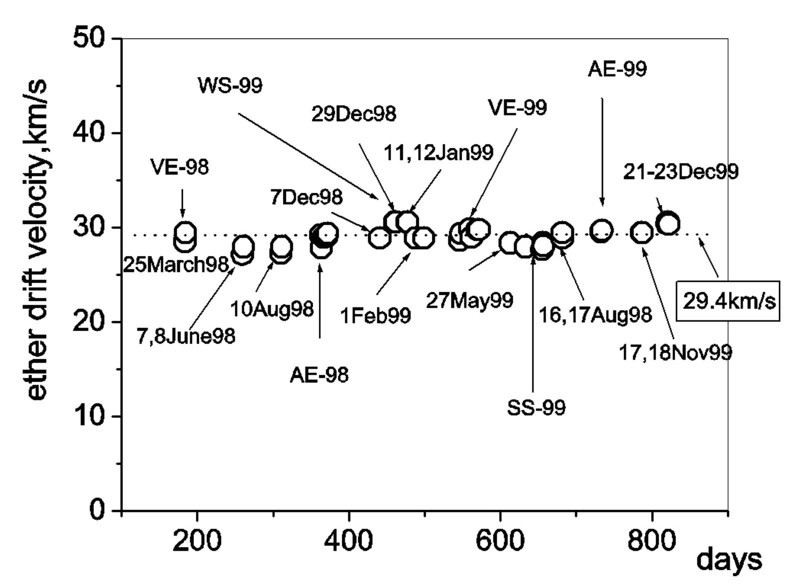


Рис. 22.2. Скорость эфирного ветра, обусловленного орбитальной компонентой движения Земли, в период с марта 1998 по декабрь 1999 гг.: τ – количество дней с 00:00:00 GMT 23 сентября 1997, VE–весеннее равноденствие, SS-летнее солнцестояние, WS-зимнее солнцестояние, AE-осеннее равноденствие

Таким образом, в нашем случае имеет место почти полная аберрация (20,25″), что близко к так называемой постоянной аберрации в астрономии – 20,5″. На основании этого факта можно сделать два альтернативных заключения: либо эфир вообще не увлекается движением Земли (абсолютный эфир), либо такое увлечение есть, но волна, сформированная за пределами переходного слоя увлеченного Землей эфира, почти не испытывает воздействия с его стороны. И если бы первое было действительно верно, то аберрация с таким же значением угла имела бы место для любого земного источника. Однако, как показал выполненный у поверхности Земли с точностью до 3″ эксперимент [9], аберрация от источника света, фиксированного относительно приемника вблизи Земли (до 1 км), вообще отсутствует. Идея об увлечении эфира движущейся Землей подтверждается не только экспериментом [9], но и безуспешными попытками обнаружить эфирный ветер при помощи интерференционных опытов, выполненных на уровне моря. Поэтому второе заключение об увлечении эфира – более реально. Почему же увлекаемый Землей переходный слой эфира практически не оказывает влияния на распространение электромагнитной волны, которая пришла от источника, находящегося за пределами этого слоя, пока не ясно. Однако можно предложить, по крайней мере, две идеи.

Первая – это связано с самим процессом генерации поля в ближней зоне. Источник, возмущая эфир вблизи себя, генерирует в нем в соответствии с микроскопическими уравнениями Максвелла систему вихрей, более плотных по сравнению с окружающим невозмущенным эфиром. Эта система связанных возмущений эфира (электромагнитное поле) распространяется в волновой зоне по принципу близкодействия со скоростью 300000км/с и, встречая на своем пути менее плотную движущуюся материю (например, ламинарные потоки эфира), не увлекается ею. При встрече же с более плотным образованием из эфира, поле может увлекаться этой материей частично (например, потоком воды как в эксперименте Физо) или полностью в зависимости от плотности этого образования.

Вторая идея состоит в том, что переходный слой эфира может быть настолько тонким, что вызванное увлечением слишком малое изменение угла аберрации просто не регистрируется аппаратурой.

В грубом приближении (подразумевается полное увлечение во всем переходном слое эфира) угол аберрации α имеет вид

$$\operatorname{tg}\alpha = (1 - d/D)\operatorname{tg}\alpha_0 \qquad (3),$$

где d – толщина слоя, D – расстояние между источником и наблюдателем, а α_0 — угол аберрации в неувлекаемой части эфира. Как следует из формулы, при $d/D \ll 1$ для удаленных объектов (звезд, планет) $\alpha = \alpha_0$, т.е. одинаково для всех звезд, что и подтверждается многочисленными астрономическими наблюдениями. Для близких к границе слоя объектов угол α стремится к нулю, приводя в пределе к тому, что в случае нахождения источника в самом слое аберрация уже не имеет место. Это подтверждается результатом эксперимента [9]. В нашем же случае (спутник на орбите) D = 35000 км, а измеренный и усредненный за год угол аберрации отличается от постоянной аберрации примерно на 1%. Это дает для оценки максимальной толщины слоя увлеченного Землей эфира значение 350 км. Возможно, что толщина этого слоя гораздо меньше, так как, скорее всего, коэффициент увлечения изменяется постепенно от 0 до 1 по мере приближения к поверхности Земли. Пока закон такого изменения не известен, но он, несомненно, связан с физическими свойствами эфира, которые еще требуют своего изучения.

Интересен еще один вывод из полученного в данной работе результата. Реальное наблюдение аберрации в ситуации, когда источник привязан к приемнику, является еще одним экспериментальным опровержением баллистической гипотезы Ритца, в соответствии с которой в такой ситуации аберрация не должна наблюдаться вообще.

Для нахождения компонент движения Солнечной системы в работах [5,7] были использованы экспериментальные значения P и α_{apx}, а также экспериментальное значение для постоянного аберрационного сдвига геоцентрической широты спутника $\Delta\varphi_{apx}$. Оно было получено из его связи с величиной пьедестала (см. рис. 3) на кривых высоты спутника при учете атмосферной рефракции и при усреднении за год [7]. На этом графике приводится характерный пример трехсуточного поведения высоты спутника и синусоидальный характер кривой здесь вызван наличием ненулевого значения наклонения орбиты.

В каждом случае при решении наборов из трех уравнений (2) для экспериментальных значений прямого восхождения апекса Солнца было получено $\cos \alpha_{apx} \cong 0$, т.е. прямое восхождение апекса Солнца α_{apx} близко 90°, либо 270°. Одно из этих значений с высокой точностью совпадает с часовым углом апекса Солнца, известным из наблюдательной астрономии: $17^h 59^{min}$, т.е. 269,75°.

Для нахождения склонения апекса δ в [5,7] использовалось отношение $\Delta\varphi_{apx} / p = \mathrm{tg}\, \delta$. При измеренном среднегодовом экспериментальном значении постоянного сдвига широты спутника $\Delta\varphi_{apx} = 0{,}117°$ было определено значение склонения апекса Солнца $\delta = 89{,}5°$.

После использования этого значения склонения из выражения $\Delta\varphi_{apx} = \beta_{apx} \sin \delta$ была определена скорость Солнечной системы. Полученное значение 600 ± 30 км/с хорошо согласуется с известными значениями для скорости движения нашей Галактики, ранее измеренными в работе [10] на основании исследования сдвига частоты фонового микроволнового излучения. Эта абсолютная скорость является векторной суммой скорости нашей Галактики и орбитальной скорости Солнца относительно галактического центра (в среднем около 250 км/с).

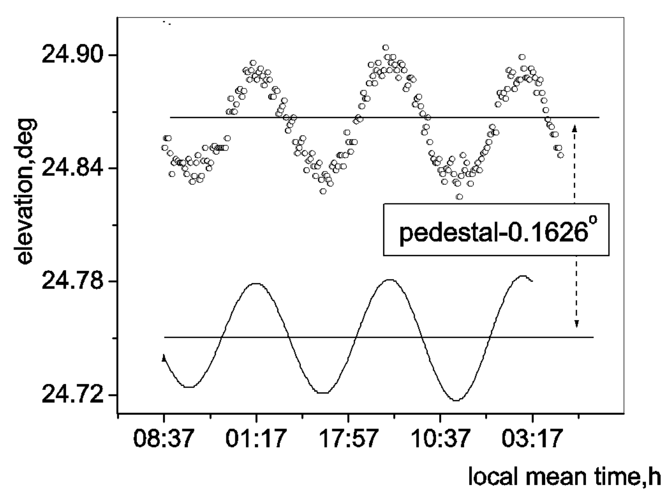


Рис. 22.3. Высота спутника Intelsat704 в период 10–13 января 1999 г.

Точки – эксперимент, линия – предсказание

Скорость света

Совпадение параметров движения Земли, измеренных в данном эксперименте, со значениями, принятыми в наблюдательной астрономии, подтверждает достоверность полученных результатов и позволяет сделать вывод о том, что скорость равномерно движущейся системы координат (в нашем случае Земли) может быть реально измерена устройством, в котором источник излучения и приемник находятся в покое как относительно друг друга, так и самой системы координат. Этот экспериментальный факт является основанием для пересмотра утверждения специальной теории относительности о независимости скорости света, измеряемой в движущейся системе координат, от движения этой системы. Вектор этой скорости **c′** для неувлекаемого эфира связан с векторами абсолютной скорости света в эфире **c** и скорости наблюдателя **v** соотношением **c′** = **c** – **v**. Модуль этого вектора, который можно найти скалярным умножением этого соотношения с обеих сторон на единичный волновой вектор **k**, дает значение для скорости света в системе координат наблюдателя

$$c' = (c - v\cos\eta)\cos^{-1}\alpha \qquad (4),$$

где η — угол между k и **v**, а α — угол аберрации, т.е. угол между k и **c′**. Для равномерного движения он имеет точную зависимость от **v**

$$\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{\mathrm{v}\sin\eta}{\mathrm{c} - \mathrm{v}\cos\eta} \qquad (5).$$

После исключения α из (4), можно получить значение относительной скорости света в движущейся системе координат наблюдателя

$$c' = \sqrt{c^2 - 2cv\cos\eta + v^2} \qquad (6)$$

Таким образом, эта относительная скорость в принципе не может быть тождественно приравнена абсолютной скорости электромагнитной волны **c**, как это было сделано в работе [11] при создании специальной теории относительности. Абсолютная же скорость не зависит от движения источника и/или наблюдателя, а определяется только физическими характеристиками материальной

среды (эфира), где генерируется и распространяется эта электромагнитная волна.

Литература

1. ***Эфирный ветер*** (ред. В.А. Ацюковский), М., Энергоатомиздат, 1993, 289 с

2. ***Miller D.C.*** Significance of the ether-drift experiments of 1925 at Mount Wilson, Science 1926, 63, 433–443

3. ***Michelson A., Pease F., Pearson F.*** Repetition of the Michelson–Morley experiment, JOSA, 1929, 18, 3, 181–182

4. ***Conference on Michelson–Morley experiment.*** Astrophys. J. 1928. 68. 5. 341

5. ***Shtyrkov E.I.*** Observation of ether drift in experiments with geostationary satellites, Proceedings of the NPA, 12th Annual Conference , Storrs CT, USA, 23–27 May 2005. v.2, №2, 201–205; и на http://bourabai.narod.ru/shtyrkov/shtyrkov.pdf

6. ***Штырков Е.И***. Измерение параметров движения Земли в эксперименте с геостационарным спутником , Fundamental Problems of Physics, III International Conf. Program &Abstracts, Kazan, 13–18 June 2005, 101–102

7. ***Штырков Е.И.*** Измерение параметров движения Земли и Солнечной системы, Вестник КРАУНЦ:Науки о Земле, 2005, №2, в.6, 135–143; http://bourabai.narod.ru/shtyrkov/bradley.pdf

8. ***Штырков Е.И.*** Сайт http://www.intelsat.com

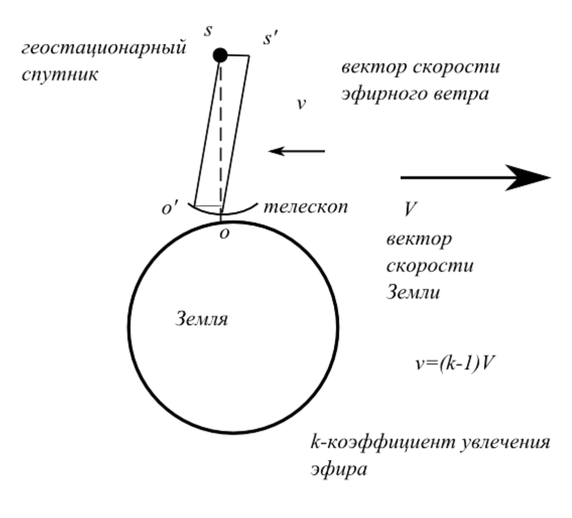
9. ***Штырков Е.И.*** К вопросу экспериментальной проверки некоторых положений электродинамики движущихся сред, Гравитации и теория относительности, Казань, КГУ, 1988, 26, 133–142, а также на http://bourabai.narod.ru/shtyrkov/snell.pdf

10. ***Smoot G., Gorenstein N., Muller R.*** Phys. Rev. Lett.,1977, 39, 898.

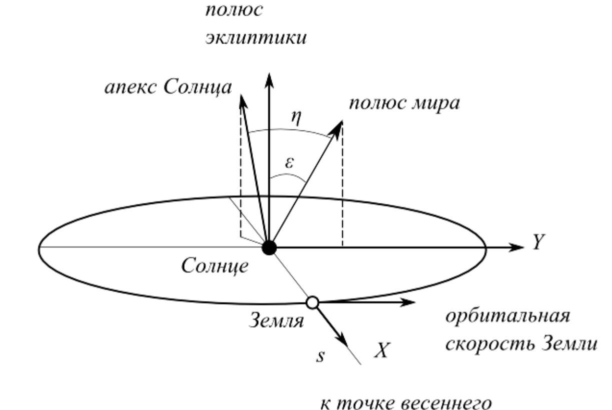
11. ***Einstein A.*** Zur Elektrodynamik der bewegter Korper, Ann.Phys.,1905, 17, 891

Труды конференции «Пространство, время, тяготение», «TESSA», С.–Петербург, 2007, с. 296–310

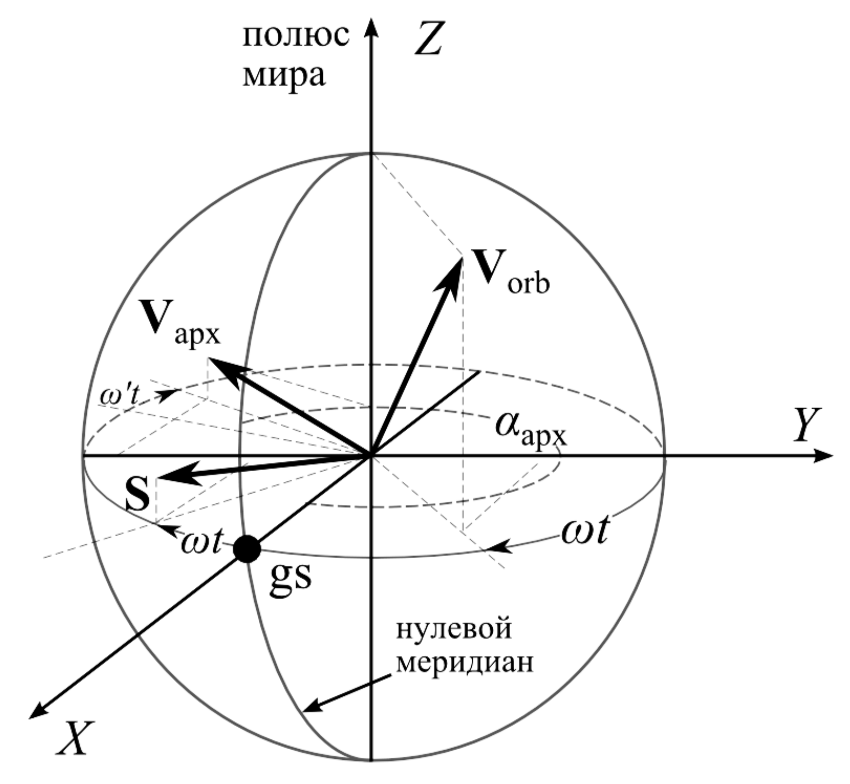
Приложение. Рисунки из предыдущих статей Е.И.Штыркова



Спутниковая аберрация излучения в системе координат Земли. Точки s и s' соответствуют реальному положению спутника, вычисляемому геометрически, и его кажущемуся положению. Рис. из публикации [7]



Положение Земли на орбите, векторов ее движения и единичного вектора солнечного светового давления s в эпоху 23 сентября 00:00:00 GMT (начало нового тропического года). Рис. из публикации [5]



Положения векторов скоростей движения в геоцентрической вращающейся экваториальной системе координат через время t после начала нового тропического года. s — геостационарный спутник, Vorb — вектор орбитальной скорости Земли, Vapx — галактическая скорость Солнца, s — единичный вектор светового давления на спутник, αapx — прямое восхождение апекса Солнца, ω — угловая частота вращения Земли, ω' — частота вращения вектора апекса. Рис. из публикации [5]

23. В.А.Ацюковский. Исследования эфирного ветра с помощью лазера (2000)



Ацюковский Владимир Акимович
НИИ авиационного оборудования,
г. Жуковский Московская область

Ниже приведено краткое описание экспериментов по исследованию галактического эфирного ветра, проведенные автором и его помощником Михаилом Ефимовичем Павленко, ныне покойным, во время работы в НИИ авиационного оборудования, расположенным в г Жуковском Московской области в период с 1990 по 2000 гг. К сожалению, в силу ряда обстоятельств и загруженности основной тематикой эти исследования носили всего лишь эпизодический характер, хотя и позволили сделать некоторые предварительные выводы, которые могут быть использованы при дальнейших исследованиях эфирного ветра методами значительно более простыми, чем те, которыми располагали А.Майкельсон и его последователи. А это значит, что исследования эфирного ветра, обдувающего земной шар, в недалеком будущем могут стать массовыми и системными.

Все исследования эфирного ветра конца 19–го и первой половины 20–го столетий, не давшие положительные результаты, не учитывали газоподобного строения эфира, идеализировали свойства эфира и поэтому допустили серьезные методические и инструментальные ошибки, обусловившие отрицательный результат их экспериментов.

Основной ошибкой, допущенной всеми исследователями эфирного ветра до середины двадцатого столетия включительно, было то, что ими эфир представлялся как идеальная жидкость, не имеющая вязкости и без какого бы то ни было торможения проникающая во все виды вещества. Кроме того, свет ими (и сейчас еще) представлялся как поперечные волны эфира, хотя для создания любых поперечных волн необходимо наличие градиента плотности в

среде и потенциальной силы, что в любой сплошной среде отсутствует.

Сегодня уже понятно, что в основу измерений эфирного ветра нужно было положить представление об эфире как о газоподобной среде, подчиняющейся всем известным законам обычного реального, т.е. вязкого и сжимаемого газа. Это требовало учета ряда обстоятельств, которые были упущены всеми исследователями эфирного ветра, что и предопределило результаты экспериментов. Эти обстоятельства следующие.

1. Поскольку эфир оказался газоподобной средой, то его потоки, обдувающего Землю, должны тормозиться атмосферой и, следовательно, с уменьшением высоты измерительного пункта над поверхностью Земли относительная скорость эфирного ветра относительно поверхности Земли должна уменьшаться, а в подвальных помещениях измерение скорости потоков эфира относительно поверхности Земли становится невозможным в силу торможения потоков эфира земными породами. Это обстоятельство было подтверждено опытами Майкельсона и Морли 1881 и 1887 гг, проводимыми в подвальном помещении, а далее работами Морли и Миллера 1905 г., выполненными на Евклидовых высотах (высота 250 м. над уровнем моря), получившими скорость потоков эфира порядка 3–3,5 км/с, и особенно исследованиями Д.К.Миллера, выполненными в 1921–1925 гг. в обсерватории Маунт Вилсон на высоте 1860 м. и получившему скорость порядка 8–10 км/с.

Отсюда следовал вывод, что измерения скорости эфирного ветра необходимо проводить на возможно большей высоте относительно поверхности Земли и, по возможности, вдали от местных предметов, расположенных на той же высоте.

2. Поскольку Миллером установлено, что апекс эфирного ветра составляет 26° от Полюса мира, необходимо нулевым положением любого прибора, используемого в эксперименте, считать направление на север. Тогда суточное вращение Земли приведет к симметричному отклонению направления эфирного ветра в течение суток.

3. Поскольку эфир представляет собой реальный газ, он должен тормозиться любыми, особенно металлическими предметами, имеющими поверхность Ферми, поэтому помещение, в котором предполагается проводить измерение скорости эфирного ветра, должно иметь, по возможности, тонкие стены и желательно, не содержащими металлических вкраплений. Необходимость этого была

подтверждена экспериментами Пикара и Стаэля (1926 г.), а также Кеннеди и Иллингворта (1927 г.), упаковавшими интерферометры в металлические ящики и не получившими вследствие этого положительных результатов, хотя и проводившими измерении на большой высоте. Кроме того, поздние (1928–1929 гг.) эксперименты Майкельсона, Писа и Пирсона, проведенные в обсерватории Маунт Вилсон в специально построенном фундаментальном доме, хоть и дали положительный результат (6 км/с), но меньший, чем полученный Миллером (8–10 км/с), поскольку Миллер расположил измерительную аппаратуру (интерферометр) в легкой фанерной постройке, слабо тормозящей эфирные потоки.

4. Для того, чтобы выявить тонкую структуру вариации скорости эфирного ветра, необходимо проводить круглосуточные и круглогодовые измерения скорости эфирного ветра с периодичностью не более чем через 5 минут, а возможно и непрерывно.

В качестве же инструмента для измерения эфирного ветра могут быть использованы свойства эфира, вытекающие из его газоподобности, – давление на предметы, вязкость и другие параметры.

Постановка исследований эфирного ветра

Учет перечисленных выше методических особенностей проведения измерений скорости эфирного ветра позволил избежать основных методических ошибок, допущенных всеми, кроме Миллера, исследователями скорости эфирного ветра.

Целью эксперимента было подтверждение существования в природе эфирного ветра и подтверждение возможности его измерения не интерферометрическим способом, причем не второго, а первого порядка, позволяющим увеличить эффект на 4–5 порядков и тем самым резко снизить требования к измерительному инструменту.

В качестве места проведения эксперимента была выбрана отдельная комната, расположенная на 9 этаже корпуса ЛСК (лабораторно–стендовый корпус) Филиала ЛИИ (позже – НИИАО) на территории Летно–Исследовательского института в г. Жуковском Московской области.

В качестве измерительного инструмента был выбран обычный лазер (ЛГ–65), исходя из предположения, что эфирные потоки, обдувая лазерный луч, будут его искривлять подобно тому, как обычный ветер искривляет консольно закрепленную балку. Отклонение луча от нейтрального положения может быть обнаружено с помощью фотодиодов или фотосопротивлений, фиксирующих положение светового пятна.

Использование обычных источников света для поставленной цели было отклонено, поскольку обычный источник формирует относительно короткие фотоны, которые эфирным ветром будут просто сноситься, в то время как лазерный луч представляет собой единую систему и вполне уподобляется консольно закрепленной балке, следовательно, она будет изгибаться, и отклонение луча будет пропорционально квадрату его длины.

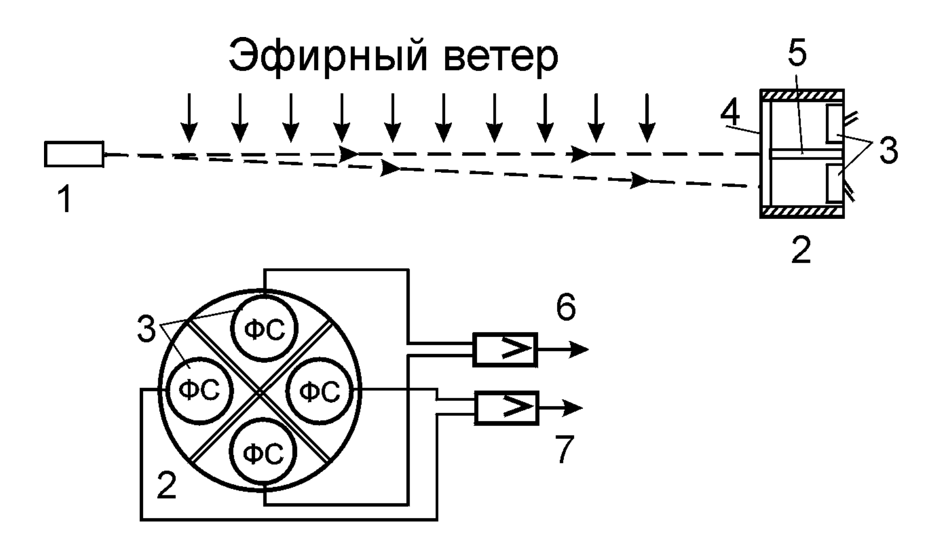
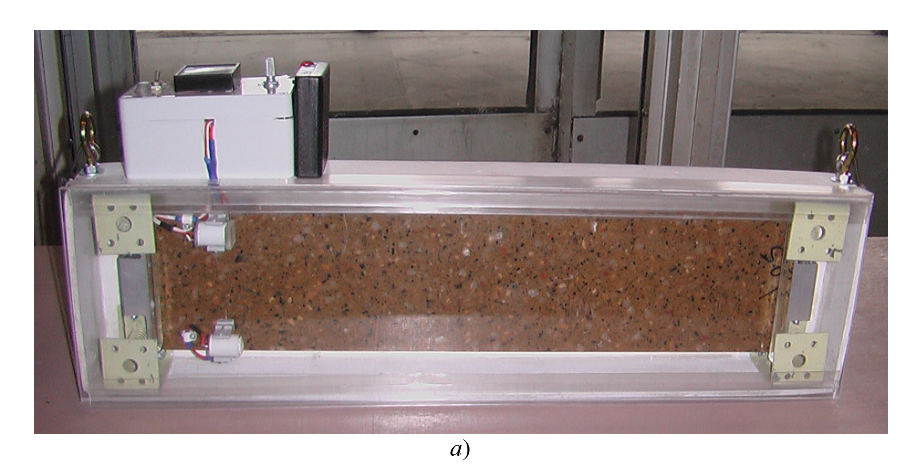


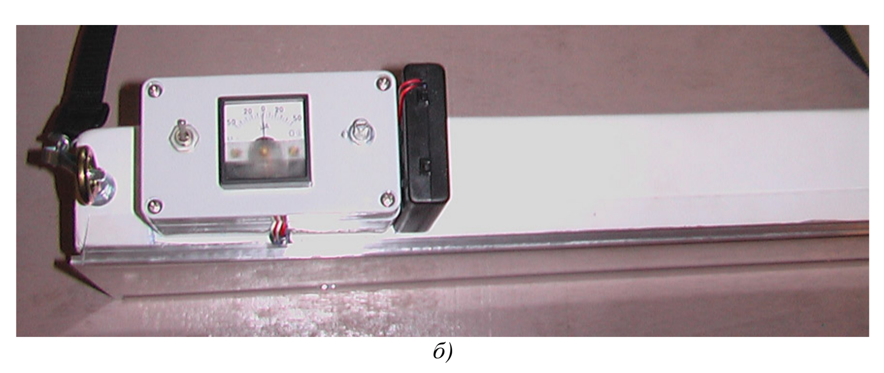
Рис. 23.1. Схема измерения скорости эфирного ветра с помощью лазерного луча: *1* — лазер; *2* — детектор; *3* — фотосопротивления; *4* — матовое стекло; *5* — непрозрачная перегородка; *6* — усилитель сигнала вертикального отклонения луча; *7* — усилитель сигнала горизонтального отклонения луча.

Отклонение пятна лазерного луча от его невозмущенного положения фиксируется двумя парами фотодиодов или фотосопротив-

лений, включенных соответственно в две мостовые электронные схемы. Одна пара фотодиодов (фотосопротивлений) расположена горизонтально и фиксирует отклонение луча в горизонтальной плоскости, вторая пара расположена вертикально и фиксирует отклонение луча в вертикальной плоскости.



а)



б)

Рис. 23.2. Полевой вариант макета лазерного измерителя геопатогенной зоны (разработка А.Г.Леонтьева, Наро-Фоминск Московской области):
а) вид сбоку; б) вид сверху

Для повышения чувствительности прибора путем увеличения длины лазерного луча может быть использовано многократное отражение луча от зеркал с поверхностным отражением.

В эксперименте использовалась оптическая скамья, длиной 1,2 м, шириной 15 см и толщиной 8 см, выполненная из искусственно-

го гранита. Скамья размещалась на двух подушках, положенных на два стула, чем предотвращалось влияние возможных вибраций. В помещении поддерживалась постоянная температура.

В установке использовался газовый лазер ЛГ–65, в детекторе были применены 4 фотосопротивления типа ФС–1, размещенные крестообразно — два по вертикали, два по горизонтали. Перед фотосопротивлениями было помещено матовое стекло для обеспечения рассеивания света, и весь детектор размещен в зачерненной изнутри алюминиевой трубке длиной 15 см. для предотвращения внешней засветки. Общая длина лазерного луча составляла 7 м.

Запись производилась на стандартный промышленный самописец с шириной бумажной ленты в 27 см. Скорость протяжки ленты составляла 0,1 см/мин. Параллельно записывались горизонтальное и вертикальное отклонения лазерного луча от его нейтрального положения.

Результат эксперимента

Несмотря на то, что за все время проведения экспериментов не удалось провести систематические исследования скорости эфирного ветра, так же как и оценить его величину, следует считать, что периодические суточные отклонения лазерного луча в горизонтальной плоскости и в вертикальной имели место, причем в горизонтальной плоскости в 2–5 раз больше, чем в вертикальной.

Главным результатом является то, что можно считать подтвержденной возможность использования физического эффекта отклонения лазерного луча от нейтрального положения под воздействием эфирных потоков. Этим самым подтверждается возможность в дальнейшем создания измерителя скорости эфирного ветра первого порядка, что в свою очередь позволит перейти к массовым и систематическим исследованиям эфирного ветра.

Вторым результатом является факт суточной вариации отклонения лазерного луча, что может быть истолковано как суточная вариация изменения направления эфирного ветра.

Третьим результатом является неожиданное для авторов появление периодических колебаний лазерного луча с периодами от долей минуты, до единиц часов, что может быть истолковано как

влияние дополнительных возмущений, связанных с излучением Солнца, выраженных в извергаемых им эфирных потоков.

В качестве выводов следует указать на целесообразность создания портативных переносных приборов и их массовое производство для систематических исследований эфирного ветра в различных точках Земли на разных высотах, включая горы и различные летательные аппараты, в том числе искусственные спутники Земли, в разное время года и суток.

Исследования эфирного ветра следует продолжить.

24. В.А.Ацюковский. Эфирный ветер: проблема, ошибки, задачи (1993, 2011)



Ацюковский Владимир Акимович
НИИ авиационного оборудования,
г. Жуковский, Московская область

Немного истории

Представления о существовании эфира – мировой среды, заполняющей все земное и космическое пространство, являющейся строительным материалом для всех видов вещества, движения которой проявляются в виде силовых полей, – сопровождали всю историю известного нам естествознания с самых древнейших времен. Можно с сожалением констатировать постепенную утрату знаний об этой универсальной всеобразующей и всепроникающей среде вплоть до XX столетия, хотя до этого времени представления об эфире по-прежнему составляли существенную часть представления о природе. Но в XX столетии становление теории относительности, всеобщая феноменологизация науки, превалирование абстракций над здравым смыслом привели к тому, что эфир оказался исключенным из поля деятельности науки, все разговоры о нем прекращены, а само понятие «эфир» объявлено дискредитированным. И это несмотря на то, что сам Эйнштейн, спохватившись, объявил в 1920 и 1924 гг., что «пространство немыслимо без эфира»!

Феноменология и абстрагированная от реальности математизация физики оказали науке в конечном итоге плохую услугу, явно заведя физику в тупик и сделав ее неспособной выполнять руководящую роль в решении новых прикладных задач. И это, безусловно, связано с непониманием глубинной сути структуры вещества, физических процессов, полей, взаимодействий. Ограничение поиска только феноменологией, внешними проявлениями, аксиоматикой и постулированием никому еще всерьез не помогало!

Поэтому в теоретической физике началось метание. «Вакуум» (пустота) стал именоваться «физическим вакуумом» (не пустотой), а силовые поля приобрели статус «особого вида материи», как будто смена ярлыков что-то объяснила и кому-то смогла помочь. Всевозможные теоретические несообразности типа «парадоксов», «сингулярностей» и т. п. стали лечиться «калибровками», то есть, попросту говоря, подгонкой теорий под экспериментальные данные, хотя суть теорий при этом не трогалась. «Элементарные» частицы стали заменяться «кварками», число которых с учетом их «цвета», «очарования» и других столь же приятных, сколь и бессмысленных свойств оказалось ничуть не меньшим, чем число «элементарных частиц» вещества. А все процессы по-прежнему сводятся к пространственно–временным искажениям, а не к скрытым формам движения материи, и никакого продвижения в понимании внутренней сути явлений нет и в помине.

Можно констатировать, что, пройдя по пути развития представлений теории относительности А.Эйнштейна и отказавшись от материального носителя энергии взаимодействий — эфира, физическая теория крепко засела в тупике. И это не только отечественное, но и общемировое явление [108].

А это означает, что к вопросу о существовании в природе эфира нужно возвращаться, что бы ни говорили последователи релятивистской теории.

Однако утрата представлений об эфире в начале XX столетия связана не только с утверждением теории относительности А.Эйнштейна. Существенную роль в этом сыграли результаты знаменитого опыта А.Майкельсона, соответствующая трактовка которого и была использована теорией относительности как основа для ее постулатов. И, следовательно, нужно переосмыслить эти результаты и понять, почему же в экспериментах А.Майкельсона и других исследователей проблемы «эфирного ветра» был получен «нулевой» результат, и эфирного ветра не оказалось. И тут выясняется невероятное: все это обман! Оказывается, уже в 1887 г. Майкельсоном были получены вполне определенные положительные результаты, но они были неверно обработаны. Просто проверялась

---

[108] ***Ацюковский В. А.*** Материализм и релятивизм. Критика методологии современной теоретической физики. М.: Энергоатомиздат. 1992.

конкретная гипотеза, и эта гипотеза не подтвердилась. Но эфирный ветер-то был обнаружен!

Он был обнаружен и в последующих экспериментах Морли и Миллера в 1905 г., Миллером и его группой в 1921–1925 гг. и самим А.Майкельсоном в 1929 г.! А те эксперименты, которые проводились другими авторами и которые действительно дали нулевые результаты, с позиций сегодняшних представлений об эфире, как о газоподобной среде, содержали грубейшие методологические ошибки, предопределившие результаты.

Но, вместо объективного разбирательства в причинах столь различных результатов исследователей, преследовавших, в общем, одну цель, господствующая в физике школа релятивистов «не признала» положительных результатов, а «признала» отрицательные, совершив тем самым научный подлог [109].

Сейчас, когда физическая теория оказывается неспособной помочь практике в решении насущных прикладных задач, что знаменует собой кризисное положение в теоретической физике, становится особенно важным найти выход из создавшегося тупика. Поэтому необходимо вновь вернуться к истокам этого пути, к той точке, в которой произошел поворот физики от динамического направления к феноменологии, к абстракции, к постулированиям, аксиоматике. Нужно вернуться к проблеме эфира и к тем экспериментам, которые уже были проведены, дали результат и были несправедливо ошельмованы. Нужно вернуться к проблеме эфирного ветра.

Исток проблемы эфирного ветра – явление аберрации света в астрономии, которое было открыто Дж. Брадлеем в 1728 г. Для объяснения аберрации был высказан ряд гипотез, наиболее плодотворной из которых оказалась гипотеза О.Френеля, выдвинутая им в 1825 г. и затем использованная Х.Лоренцем в его электродинамике движущихся сред. Дж. К.Максвелл незадолго до смерти отметил, что при движении Земли сквозь эфир на ее поверхности должен присутствовать эфирный ветер, который соответственно должен изменять скорость света, распространяющегося в эфире. К сожалению, отмечал Максвелл, все методы измерения изменения времени прохождения света на отрезке пути требуют возвращения

[109] ***Ацюковский В. А.*** Логические и экспериментальные основы теории относительности. Аналитический обзор. И.: Изд-во МПИ, 1990.

света в исходную точку, поэтому разница во времени оказывается зависящей от отношения квадратов скоростей эфирного ветра и скорости света, а это очень малая величина, и ее практически нельзя измерить. Однако в 1880 г. А. Майкельсон разработал прибор — интерферометр с двумя пересекающимися оптическими путями, с помощью которого подобные измерения оказались возможными.

Проведя соответствующие измерения и не получив ожидавшихся смещений интерференционных полос ни в 1881, ни в 1887 гг., Майкельсон тем самым поставил вопрос о причинах такого несоответствия теории и результатов экспериментов. В 1892 г. Дж. Фицжеральдом и Х.Лоренцем независимо друг от друга была высказана гипотеза о том, что причиной отсутствия смещения интерференционных полос может быть сокращение длин плеч интерферометра при движении вещества плеч сквозь эфир: происходит деформация поля каждого заряда, а поскольку все связи в веществе имеют электрический характер, то атомы сблизятся (ширина тела при этом пропорционально увеличится). Это создает для светового пути противоположное действие, и тем самым компенсируется основной искомый эффект. Поэтому в последующих экспериментах в 1902–1905 гг. Морли и Миллер пытались изучить, прежде всего, именно это сокращение длин под действием эфирного ветра.

Тогда было высказано предположение о том, что различные вещества будут, вероятно, претерпевать различное относительное сокращение, а поэтому можно надеяться уловить разницу в сокращении двух стержней, выполненных из различных материалов. Поэтому интерферометр, созданный в 1902 г. для этой цели, помимо металлической несущей конструкции содержал заключенные в латунные трубки сосновые стержни, к которым были прижаты отражающие зеркала. Имелось в виду, что сосна и железо имеют различные коэффициенты сокращения размеров и искалась именно эта разность с помощью сдвига интерференционных полос под действием эфирного ветра. При этом представлялось, что скорость перемещения Солнечной системы в Галактике невелика, не более 19 км/с, а орбитальная скорость больше – 30 км/с, поэтому так же, как и у Майкельсона, внимание Морли и Миллера первоначально было сосредоточено на орбитальной составляющей скорости Земли. Однако обработка полученных результатов привела к серии новых вопросов.

Прежде всего, возникли сомнения в том, правильно ли вообще проводить эксперименты в подвальных комнатах, поскольку можно ожидать, что тело Земли как-то экранирует потоки эфира. Далее было непонятно, почему получающийся эффект мал и не превышает, в пересчете на скорость, 3,5 км/с, в то время как он должен соответствовать по крайней мере 30 км/с, то есть орбитальной скорости Земли. А в дальнейшем выяснилось, что никакой орбитальной составляющей в измерениях вообще нет. Тогда что же вообще измеряется?

Появление теории относительности А.Эйнштейна в 1905 г., трактующей «нулевой» результат экспериментов А.Майкельсона как доказательство отсутствия эфирного ветра и, следовательно, как отсутствие в природе самого эфира, и дальнейшее укрепление теории бросили тень на все последующие работы по поискам эфирного ветра. Однако эти работы продолжались, и основные положительные результаты были получены группой проф. Кейсовской школы прикладной науки Дейтона Кларенса Миллера, проделавшей колоссальную работу и выполнившей громадный объем исследований. При этом выяснилось, что нет необходимости в исследовании «сокращений» длин тел, выполненных из различных материалов, поскольку имеется прямое влияние эфирного ветра на скорость света; что с увеличением высоты этот эффект растет; что существует общее направление обдува Земли и всей Солнечной системы эфиром, имеющим постоянное направление смещения в Галактике, на фоне которого орбитальное движение практически не обнаруживается. Последнее, как выяснилось, происходит вследствие почти перпендикулярного направления галактического движения эфира плоскости эклиптики и многократного превышения галактической скоростью движения эфира орбитальной скорости движения Земли, а также вследствие недостаточно высокой разрешающей способности самого интерферометра. При этом остались некоторые вопросы, в первую очередь, почему вблизи Земли скорость эфирного ветра уменьшается (теории пограничного слоя газов тогда не существовало).

Попытки других исследователей повторить эксперименты (Кеннеди, Иллингворт, Пиккар и Стаэль, а позже — Седархольм и Таунс) результатов не дали, хотя эксперименты Кеннеди, Иллингворта, Пиккара и Стаэля проводились на той же высоте, что и эксперимент Миллера. А успехи теории относительности и рост ее

авторитета привели к тому, что именно эти, неудавшиеся эксперименты были использованы в борьбе с эфирной концепцией, результаты же работ Миллера отнесены к «непризнанным». И такое положение сохраняется по сей день!

Особая роль этих экспериментов в становлении всей методологии современной физической теории и фактическое отсутствие какого-либо разбора причин получения различными исследователями столь противоречивых результатов приводят к необходимости анализа проведенных экспериментов и их возможных ошибок.

Ошибки, допущенные в экспериментах по эфирному ветру

С точки зрения сегодняшнего представления об эфире, который оказался обычным реальным, то есть вязким и сжимаемым газом, на который распространяются все законы обычной газовой механики, и о веществе, состоящем из сильно сжатых внешним давлением эфира тороидальных винтовых вихрей того же эфира, исследователи эфирного ветра допустили ряд методических ошибок как при постановке самих экспериментов, так и при обработке полученных результатов. Эти ошибки имеют принципиальное значение, и именно они предопределили и результаты, и выводы, которые этими исследователями были сделаны, в результате чего и возникло представление об отсутствии в природе эфирного ветра, а, следовательно, и эфира.

Это объясняется, конечно, прежде всего, тем, что во времена, когда проводилось большинство экспериментов, да во многом еще и сейчас, представления о свойствах эфира, о структуре вещества и об их взаимодействиях были самыми примитивными, не соответствующими физической природе эфира. Но это не все. В самой постановке экспериментов и в способах обработки результатов в существенной форме отразилось стремление исследователей подогнать результаты под определенную схему, — случай, демонстрирующий идеализм в физических исследованиях: сознание, представление о том, что должно получаться, идут впереди и определяют отношение к материи, природе, фактам. Именно это обстоятельство оказалось роковым во всей истории поисков, обнаружения и отношения к результатам экспериментов по эфирному ветру: когда после длительных попыток эфирный ветер был обнаружен, в

него просто не поверили, настолько силен был к этому времени авторитет теории относительности, утверждавшей отсутствие в природе эфира, и настолько сильна была релятивистская школа, ломавшая любого, кто осмеливался иметь иную точку зрения.

Идеализация свойств эфира, представление о нем как о всепроникающей идеальной среде, не взаимодействующей с веществом, поскольку само вещество рассматривалось как нечто, никак не связанное с эфиром, породило гипотезу Френеля (неправильно приписываемую Лоренцу) о неподвижном в пространстве эфире, сквозь который безо всякого сопротивления и взаимодействия могут проходить все предметы. Отсюда родилось представление о том, что на поверхности Земли (и во всем ее объеме) должен существовать «эфирный ветер» – смещение эфира относительно движущейся в космическом пространстве Земли, скорость которого должна составлять как минимум 30 км/с — скорость перемещения Земли по орбите вокруг Солнца. На самом же деле, если учесть, что эфир — это обычный газ, отличающийся от известных нам газов не принципиально, а лишь своими параметрами, если учесть, что этот газ подчиняется всем известным нам сегодня законам обычной газовой динамики, то сразу же возникают вопросы, характерные для газодинамического подхода: учет вязкости эфира, учет наличия пограничного слоя вблизи движущихся предметов, оказываемое сопротивление движению тел, образование присоединенных вихрей и т. д. Все эти вопросы не ставились вообще, и единственный исследователь, который как-то, и то лишь частично обратил на них внимание, был Дейтон Кларенс Миллер, профессор Кейсовской школы прикладной науки в Пасадене, США. Д. К. Миллер выполнил огромный объем работ, получил в результате положительный эффект по обнаружению эфирного ветра, определил направление смещения эфира относительно Земли и Солнечной системы и тем самым экспериментально доказал существование в природе эфира, обладающего свойствами обычного газа, за что наука должна быть ему бесконечно благодарна. Но в вопросе признания полученных Миллером результатов официальной наукой сработал стереотип мышления: раз предшествующие и тем более последующие эксперименты, выполненные другими исследователями, не подтвердили полученных Миллером данных, значит, Миллер ошибся, его результаты непонятны, ничего такого на свете нет, тем более что теория относительности отрицает саму возможность существования

эфира. Никому не пришло в голову, что и предыдущие, и последующие эксперименты могут быть поставлены в принципе неверно и что ошибки в их постановке, проведении и в обработке полученных данных предопределили результаты и выводы.

Продемонстрируем сказанное.

Не только начальные эксперименты, но и ряд последующих в целях устранения мешающих факторов — вибраций и температур — проводились в подвальных помещениях. Тем самым слоем земли экранировалась горизонтальная составляющая смещения эфира, его относительная скорость уменьшалась. Это хорошо видно из табл. 2 статьи Ф. Г. Писа «Данные о движении эфира». Как упоминает Пис, первая серия отсчетов была выполнена при размещении интерферометра над поверхностью Земли, а вторая, третья и четвертая серии — ниже поверхности Земли. Прибор был один и тот же. Это дает возможность сравнивать результаты. Из табл.2 видно, что размах смещений в первом случае составил 5,6 единиц, а во всех остальных сериях он был заметно меньше: во второй серии 1,3 единицы, в третьей 4,3 единицы, в четвертой, к сожалению, непосредственные данные не приведены. Таким образом, та часть опыта, которая была выполнена с помощью интерферометра, размещенного над полом, дала больший эффект, чем та часть опыта, которая была проведена с помощью того же интерферометра, помещенного ниже уровня пола в том же помещении.

Если Д. К. Миллер в обсерватории Маунт Вилсон для проведения экспериментов построил легкий деревянный домик и получил при этом скорость эфирного ветра порядка 10 км/с, то в 1929 г. там же А.Майкельсон провел подобный же эксперимент в фундаментальном здании. Результат не замедлил сказаться: измеренная скорость эфирного ветра составила не более 6 км/с.

Но еще более важными являются ошибки, связанные с экранировкой чувствительного элемента интерферометра — светового пути — металлом. Эту же ошибку допустили экспериментаторы и в ранних опытах по изучению сокращения длин стержней под воздействием эфирного ветра: они поместили сосновые стержни в латунные трубки, вероятно, для их устойчивости.

Как известно, свет частично отражается от поверхности изоляторов, а частично поглощается телом самих изоляционных материалов, но в основном в таких изоляторах, как кварц, стекло, потери относительно невелики, и они прозрачны для света. Это означа-

ет, что эфирные потоки, образующие вихревую структуру фотонов, испытывают определенное сопротивление со стороны материала, но для изоляционных материалов это сопротивление относительно невелико. Другое дело металл. На поверхности металлов имеется так называемый «слой Ферми», состоящий из электронов и представляющий собой практически непроницаемую преграду для фотонов, в результате чего свет и отражается от поверхности металла по законам простого механического удара. Но это же означает, что струи эфира, образующие фотоны, не могут проникнуть сквозь металл: слишком велико сопротивление прохождения. Но то же должно относиться и к струям эфира в составе эфирного ветра. А это значит, что пытаться измерять эфирный ветер прибором, заключенным в металлический короб, как это пытались делать Кеннеди, Иллингворт, Пиккар и Стаэль, бесполезно, бессмысленно, все равно, что пытаться измерить ветер, дующий на улице, находясь вместе с измерительным прибором в плотно закупоренной комнате. Никакое увеличение чувствительности интерферометра, столь остроумно придуманное Кеннеди, не поможет обнаружить эфирный ветер, который в этом ящике просто отсутствует. Однако если бы ящик этот был сделан из любого изоляционного материала, можно было бы реально рассчитывать на успех. А так это было бессмысленной тратой времени и средств.

Это же можно отнести и к первым опытам Майкельсона. Искомый эффект Фицжеральда–Лоренца нельзя было обнаружить, даже если он существует, по той простой причине, что сосновые стержни, которые должны были испытывать сокращение в результате их движения сквозь эфир, были по всей своей длине экранированы латунными трубками, в которые они были помещены в целях устранения изгиба.

Очень интересно проводилась обработка измерений в первых экспериментах, в частности, в экспериментах Майкельсона 1881 и 1887 гг. Здесь было сделано все, чтобы аннулировать даже те данные, которые были получены, несмотря на допущенные ошибки и невысокую чувствительность прибора. Показания, снятые на 16 азимутах, затем усреднялись путем суммирования данных, полученных на противоположных азимутах. Почему? Потому что проверялась только гипотеза Лоренцова сокращения длин стержней, а для этого направление эфирного ветра не имело значения. Это, конечно, имеет значение для смещения интерференционных полос и

определения направления ветра в галактическом пространстве. Но космическое движение в расчет не принималось и, просуммировав столь замечательным образом показания интерферометра, удалось-таки все в точности скомпенсировать и добиться «нулевого» результата там, где был совершенно определенный положительный результат!

Ошибочной оказалась и версия наличия эфирного ветра только вдоль орбитального движения Земли, исходящая из представления о том, что Солнечная система в Галактике движется со скоростью не более 19 км/с, в то время как скорость Земли на орбите — 30 км/с. Но сейчас уже известно, что скорость движения Солнечной системы относительно фонового излучения, а, следовательно, и относительно эфира составляет около 400 км/с, при этом направление смещения составляет с плоскостью эклиптики почти прямой угол. Следовательно, относительное изменение скорости за счет орбитального движения составит лишь

$$\delta v = \sqrt{400^2 + 30^2} - 400 = 1{,}1 \text{ км/с}.$$

Но поскольку в пограничном слое относительная скорость эфирного ветра на Маунт Вилсон уменьшилась с 400 км/с до 10 км/с, то есть в 40 раз, то пропорционально уменьшилась и ее вариация с 1,1 км/с до 28 см/с, что, конечно, не могло быть измерено интерферометрами, чувствительность которых была существенно ниже.

Угол же изменения направления эфирного ветра за счет орбитальной скорости мог быть не более чем

$$\delta\alpha = \operatorname{arctg}\frac{\pm 30}{400} = \pm 4^\circ 20',$$

такое значение уже можно было обнаруживать, и Миллер попытался его учесть.

Но наиболее потрясающую ошибку допустила группа Седархольма–Таунса, пытавшаяся искать доплеровский эффект — изменение частоты электромагнитного излучения под влиянием эфирного ветра. Этот эффект искали в устройстве, у которого источник излучения — мазер и приемник — пластина, на которой формируется интерференционная картина, находятся в одном устройстве, а следовательно, взаимно неподвижны. Молекулы аммиака, движущиеся в канале, как это допускается методикой, предложенной

Меллером, движутся с той же скоростью, с которой они двигались и без эфирного ветра (никакого взаимодействия самой молекулы с эфиром этой методикой не предусматривается), частота излучения их сохраняется, а эффект Доплера тем не менее предполагается. Уважаемые теоретики и экспериментаторы совершенно упустили из виду, что в каждую единицу времени молекулой испускается определенное число колебаний, а это величина дискретная, и всякое изменение частоты есть изменение числа колебаний в ту же единицу времени, которому просто неоткуда взяться. Немудрено, что этот опыт ничего не дал, он и не мог ничего дать. А, кроме того, и мазер, и канал были экранированы металлом, но это даже не столь уже и важно. Но истолковано все это было как отсутствие эфирного ветра, а значит, и самого эфира. Хотя все это было бы, безусловно, правильнее истолковать только как элементарную неграмотность постановщиков эксперимента.

Столь некритическое отношение к основополагающему эксперименту теоретической физики — поискам эфирного ветра может быть объяснено только всеобщим ослеплением «величием» Специальной теории относительности А.Эйнштейна, боязнью критики, как со стороны апологетов этой теории, так и со стороны сомневающихся в ней. Эта абстрагированная от реальности теория не сможет существовать в принципе, если эфирный ветер будет обнаружен и если будет доказано существование эфира в природе, а поэтому все положительные результаты экспериментов по эфирному ветру на протяжении более чем 60 лет, подвергались обструкции, а отрицательные, давшие «нулевой» результат, всячески возносились.

Эфиродинамические представления об эфирном ветре

В работе автора «Общая эфиродинамика»[110] показано, что эфир — мировая среда, заполняющая мировое пространство, является строительным материалом для всех без исключения видов вещест-

[110] ***Ацюковский В. А.*** Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. М.: Энергоатомиздат, 1990.

ва; движения этой среды проявляются в виде соответствующих силовых полей и она является обычным реальным, то есть вязким и сжимаемым газом. Плотность эфира в околоземном пространстве составляет $8{,}85 \cdot 10^{-12}$ кг/м³, давление в нем более, чем $1{,}3 \cdot 10^{36}$ Н/м², вязкость ничтожно мала, чем и объясняется исчезающе малое воздействие на движение планет. Но вследствие большого внутреннего давления при больших градиентах скоростей в эфире могут возникать большие разности давлений и соответственно большие силы, вроде тех, которые обусловливают высокую энергию сильных ядерных взаимодействий.

Опираясь на эфиродинамические представления, можно попытаться проанализировать те формы ламинарных движений эфира, которые можно трактовать как «эфирный ветер».

Движение эфира вследствие поглощения его гравитационными массами

Как показано в главе «Гравитационные взаимодействия» упомянутой работы, под воздействием температурного градиента, вызванного разностью температур вещества (вихрей эфира) и самим эфиром, в эфире возникает градиент давлений, воспринимаемый

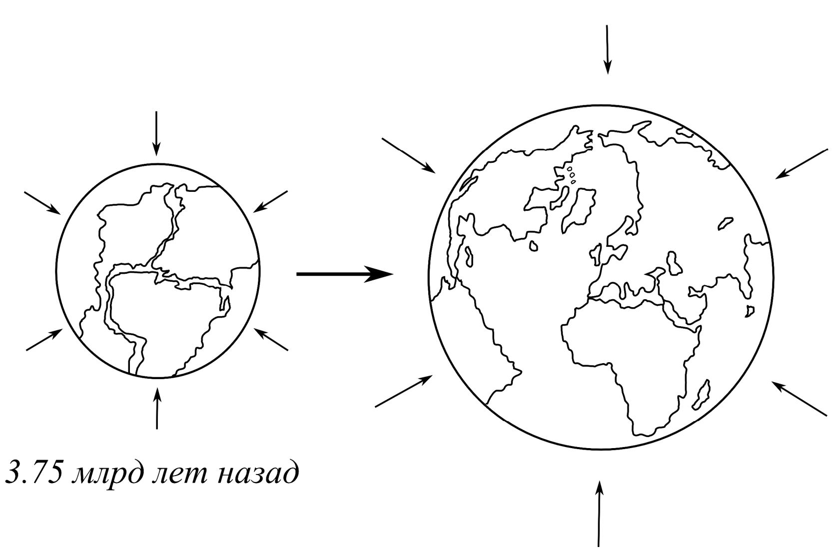


Рис.24.1. Расширение Земли вследствие поглощения ею эфира космического пространства.

как гравитационное притяжение масс. Под воздействием этого градиента давлений и сам эфир устремляется по направлению к массам, создавшим температурный градиент в эфире. Поэтому все массы, в частности, все космические тела — звезды, Солнце, планеты и их спутники непрерывное момента своего образования поглощают эфир. Поскольку в процессе своего продвижения к массе эфир не претерпевает адиабатических изменений (объем единицы массы остается неизменным), то он падает на поверхность массы как твердое тело, а это означает, что эфир входит в поверхность этой массы со второй космической скоростью, равной для Солнца 610 км/с, для Земли 11,18 км/с, а для Луны 1,68 км/с. Таким образом, на поверхности Земли имеется поток эфира, входящий в Землю с указанной скоростью. Это обстоятельство приводит к существенным искажениям пограничного слоя эфира, обтекающего Землю, в результате чего на поверхности Земли горизонтальная составляющая скорости эфирного ветра не равна нулю, как это было бы, если бы Земля не поглощала эфир окружающего пространства.

Скорость втекания эфира в Землю равна второй космической скорости и составляет 11,18 км/с. Внутри Земли эфир усваивается ядрами атомов, превращается в вещество, и Земля расширяется по радиусу примерно на 0,5 мм в год. Избыточное вещество выходит из тела Земли в виде рифтовых хребтов, отдельных островов, а также выбрасывается из тела Земли в виде геопатогенных излучений и комет.

Движение эфира в Галактике

В соответствии с представлениями эфиродинамики в нашей Галактике осуществляется кругооборот эфира (рис. 24.2). Потоки эфира движутся по спиральным рукавам в районе Солнечной системы в плоскости, перпендикулярной оси спирального рукава, постепенно смещаясь от периферии к ядру Галактики и увеличивая свой шаг.

В районе ядра Галактики сечение рукава сильно уменьшается, шаг смещения потока увеличивается, скорость эфира возрастает, и он врывается в область ядра со скоростью, измеряемой десятками тысяч километров в секунду. С другой стороны ядра по другому спиральному рукаву врывается подобный же поток. В результате соударения этих двух потоков возникает интенсивное вихреобразо-

вание, приводящее к появлению многочисленных тороидальных винтовых вихрей эфира. Эти вихри уплотняются внешним давлением эфира и одновременно делятся на все более мелкие винтовые тороиды. Этот процесс продолжается до тех пор, пока стенки тороидов не уплотнятся до некоторого критического значения. Тогда дальнейшее деление прекратится, а образовавшиеся мелкие и плотные винтовые тороиды в своей совокупности будут представлять протонный газ, который, расширяясь, начнет покидать пределы области ядра Галактики. Собственно, этот процесс и обнаружен Бюраканской обсерваторией, определившей, что масса газа, покидающего ядро Галактики, составляет, примерно, полторы массы Солнца в год.

Вокруг протонов из окружающего эфира образуются присоединенные вихри, за пределы которых кольцевое вращение уже не передается. Так возникают атомы водорода, образуется водородный газ. Собранный в облака водородный газ образует звезды, которые вследствие инерции продолжают удаляться из ядра Галактики. Те из них, которые попали в спиральный рукав Галактики, движутся вдоль рукава от ядра к периферии навстречу осевой составляющей потока эфира. Вследствие потери энергии на трение в эфире протоны постепенно уменьшают свою кинетическую энергию, и когда она становится близкой к исчерпанию, протоны разваливаются. Это происходит на краях Галактики через десяток или более миллиардов лет после их образования.

Развал протонов сопровождается высвобождением масс эфира, в результате чего давление свободного эфира на периферии Галактики оказывается выше, чем в ядре. В ядре же вследствие самоуплотнения вихрей давление эфира падает. Образовавшаяся разность давлений заставляет высвободившийся после развала протонов эфир возвращаться от периферии Галактики к ее ядру. Таким образом, в пределах спиральной Галактики осуществляется кругооборот эфира: от ядра к периферии – в составе вещества звезд, от периферии к ядру – в виде потоков эфира, воспринимаемых внешне как магнитное поле спиральных рукавов. Вот в этом потоке эфира и находится Солнечная система, а вместе с ней и Земля.

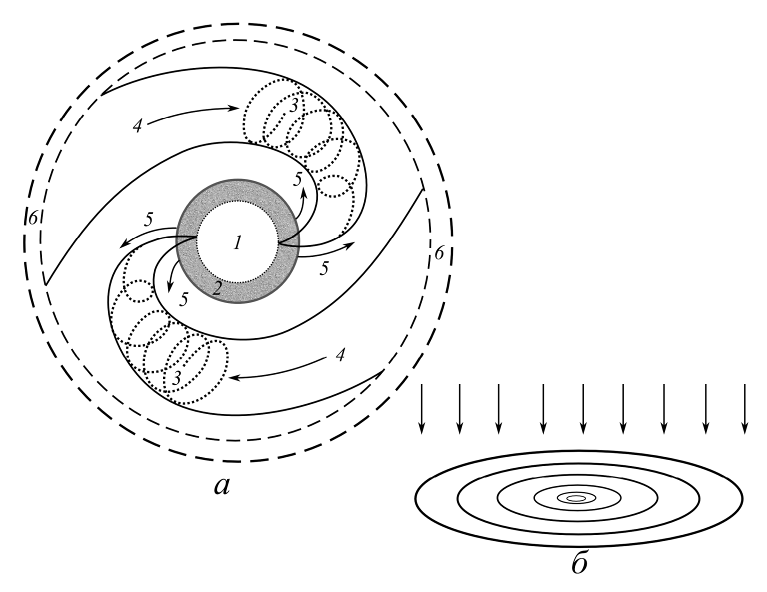
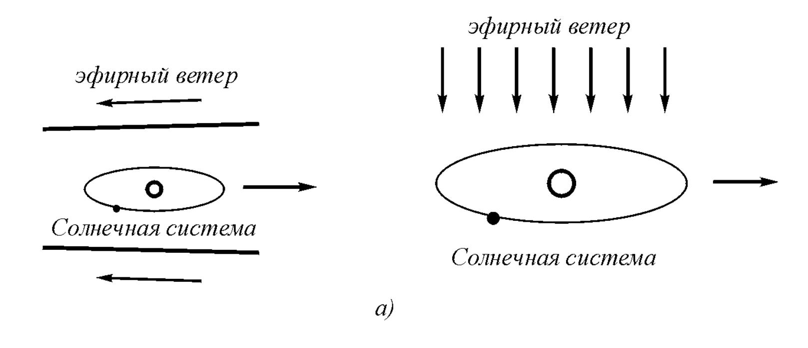


Рис. 24.2. Потоки эфира в Галактике: а — кругооборот эфира; б — обдув Солнечной системы потоком эфира; 1 — ядро Галактики — центр вихреобразования и формирования протонов; 2 — область образования звезд из протонного газа; 3 — потоки эфира, текущие от периферии Галактики к центру (проявляются в виде магнитного поля спиральных рукавов Галактики); 4 — общее направление смещения эфира от периферии Галактики к ее ядру; 5 — общее направление потока звезд от ядре Галактики к ее периферии; 6 — область распада вещества в свободный эфир

Солнечная система омывается потоком эфира, двигающимся в направлении, почти перпендикулярном плоскости эклиптики со скоростью от 300 до 600 км/с, наиболее вероятная скорость равна 400 км/с. Северный апекс этого движения, то есть направление, откуда на нас дует эфир, по первоначальным данным Миллера составляет прямое восхождение 17,5 ч и склонение +65°. В дальнейшем Миллер счел более правильным южное расположение апекса по той же линии движения; тогда координаты, определенные Миллером для этого апекса, составляют 4 ч 54 мин, а склонение −70°33'. Это предпочтение южного апекса в определенное время года нашло свое объяснение в том, что Солнце, как центробежный насос, создает потоки эфира в окружающем его пространстве, эти потоки накладываются на основной галактический поток эфира в



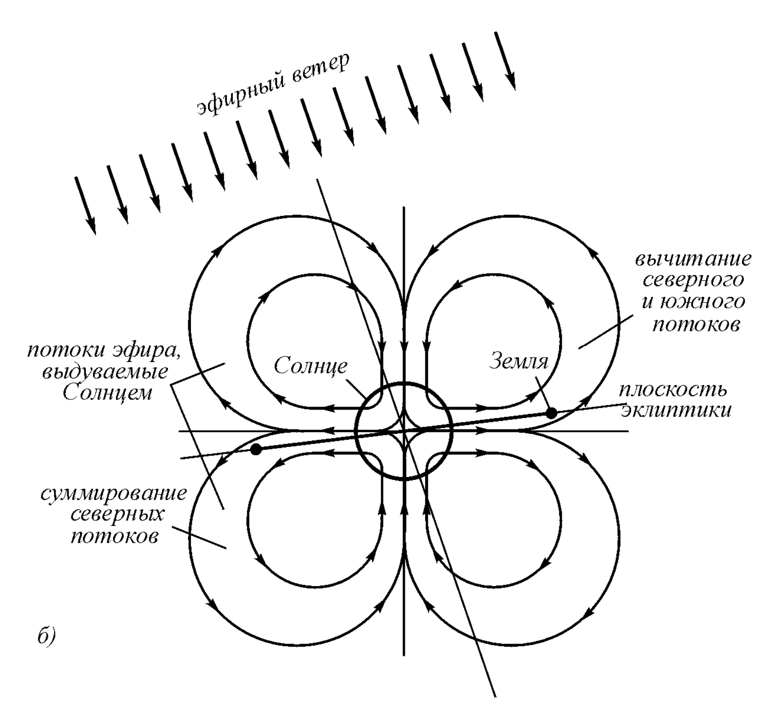


Рис. 24.3. Направление эфирного ветра относительно орбиты Земли:

а – в начале образования Солнечной системы и в настоящее время; *б* – годовые перемещения Земли относительно потоков эфира, создаваемых Солнцем

спиральных рукавах, и в одних областх околосолнечного пространства эти потоки суммируются, а в других вычитаются, что и создает эффект смены апекса.

Поскольку сам эфир перемещается в спиральном рукаве Галактики с названной скоростью, считать движение относительно эфира в данной точке пространства «абсолютным движением», как об этом пишет Д. К. Миллер, нет никакого основания. Миллер, как и многие другие, в этой части вопроса тоже находился в плену представлений об «абсолютности» положения эфира в пространстве Космоса. Но эфир — это газ, в нем существуют разные потоки, движения, плотность эфира в различных областях пространства различна, поэтому местная относительная скорость Земли и эфира вовсе ничего не говорит об «абсолютном» движении.

Вероятно, ближе к такому представлению была бы скорость относительно массы эфира Вселенной в целом. Тогда за «абсолютную» систему координат могла бы быть принята такая система координат, проекции импульсов всех амеров эфира на которую равнялись бы в сумме нулю.

Наверное, такая система координат совпала бы с системой координат, для которой импульсы движения всех масс вещества в совокупности были бы нулевыми. Тогда в первом приближении система координат, закрепленная по отношению к далеким галактикам, и была бы такой системой. А в пределах ближайших окрестностей Солнечной системы можно говорить об «абсолютном» движении лишь по отношению к этой системе координат, а по отношению к местному эфирному потоку — только о скорости и направлении этого потока по отношению к этой же системе координат и о скорости и направлении движения Солнечной системы по отношению к этому потоку или наоборот, этого потока по отношению к Солнечной системе.

Ассиметрия космических явлений

О том, что в пространстве существует некоторое выделенное направление, проявляющееся в виде не симметрии физических явлений, связанных с Солнечной системой и с Землей, сообщает ряд авторов. Например, в 1965 г. американские специалисты А.Пензиас и Р.Вильсон обнаружили так называемое космическое фоновое излучение. В 1977 г. удалось измерить скорость движения Солнечной системы относительно этого фонового излучения. Она оказалась равной примерно 400 км/с и направленной к созвездию Льва; это,

так сказать, истинный апекс движения Солнечной системы, хотя здесь правомерны сомнения, поскольку переход фотонов из одной части спирального рукава в другую, в которых плотность эфира различна, должен создавать подобный эффект. Помимо этого существует движение Солнца вокруг ядра Галактики со скоростью 300 км/с под углом 120° к истинному апексу. С учетом этого скорость движения нашей Галактики относительно фонового излучения должна составлять 600 км/с, Однако эти рассуждения до сих пор не учитывали того, что все эти излучения, попав в район местонахождения Солнечной системы, тем самым попадут в струи эфира, омывающие ее, причем эти струи охватывают обширные пространства спиральных рукавов Галактики и обязательно движение этих потоков скажется на нашем восприятии фонового излучения. Поэтому приведенные данные должны быть переосмыслены. Тем не менее, наличие асимметрии ряда физических процессов налицо.

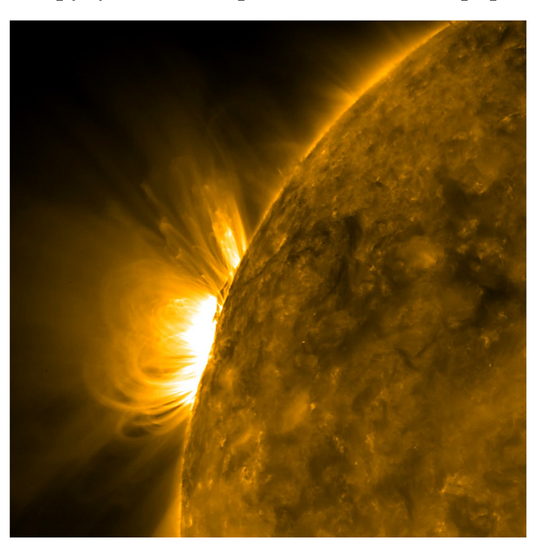


Рис. 24.4 Вспышки в северной части Солнца наблюдаются примерно в 1,5 – 2 раза чаще, чем в южной (по данным ВАГО АН СССР, 1979). Фото: http://bit.ly/flajdW

Так, А. А. Шпитальная [111] указывает на резкую несимметрию вспышечной активности Солнца: на его северной части вспышки происходят примерно в 1,5 раза чаще, чем на его южной стороне.

На Земле вулканическая деятельность в Северном полушарии значительно более интенсивна, чем в Южном. В Северном полушарии сосредоточена основная часть материков. На Земле имеется глобальная климатическая разница Северного и Южного полуша-

[111] ***Шпитальная А. А.*** О пространственной несимметрии нестационарных процессов в Солнечной системе // Развитие методов астрономических исследований. М.–Л.: ВАГО АН СССР, 1979. С. 538—542.

рий: наличие бурных сороковых южных широт, наличие океана на севере и материка на юге, пониженная по сравнению с северными областями температура районов Южного полюса, да и противоположное направление векторов вращения самой Земли и ее магнитного поля тоже свидетельствует о пространственной асимметрии земных глобальных процессов.

Весьма интересные соображения в этой части высказал научный сотрудник ЦАГИ М. В. Суханов в беседе с автором данной статьи. По его мнению, большая часть явлений пространственной асимметрии на Земле, в частности, наличие бурных сороковых широт и пониженная температура окрестностей Южного полюса вызвана наличием присоединенного тороидального вихря эфира, образовавшегося в результате омывания земного шара потоком эфира. В принципе, соображения М. В. Суханова вполне резонны. К ним можно добавить некоторые важные детали, чтобы получить более полную картину. Если шар обдувается потоком газа, то на поверхности шара давление со стороны этого потока будет в различных областях различным. В лобовой части, находящейся под прямым воздействием удара потока, давление газа будет повышено. На Земле это соответствует области Северного Ледовитого океана, материки сюда проникнуть не могут: повышенное давление эфира в этой области будет их отодвигать. Далее эфирный поток обтекает шар, образуется градиент скоростей в пограничном слое, а следовательно, пониженное давление. Это приведет к тому, что из областей более высокого давления в Южном полушарии материки постепенно сместятся в область пониженного давления в Северном полушарии (рис. 24.5), которое окажется несколько вытянутым по сравнению с Южным полушарием.

Наличие присоединенного вихря в районе Южного полюса приведет к понижению температуры эфира, а следовательно, к понижению давления в эфире в этой области, что будет способствовать смещению одного из материков именно в эту область. Сам же вихрь будет вовлекать в движение антарктические массы воздуха, что приведет к понижению температуры воздуха. А в тех местах, где присоединенный вихрь наиболее близко касается поверхности Земли, будут возникать турбулентности, что приведет к волнению водных масс, находящихся в этом районе.

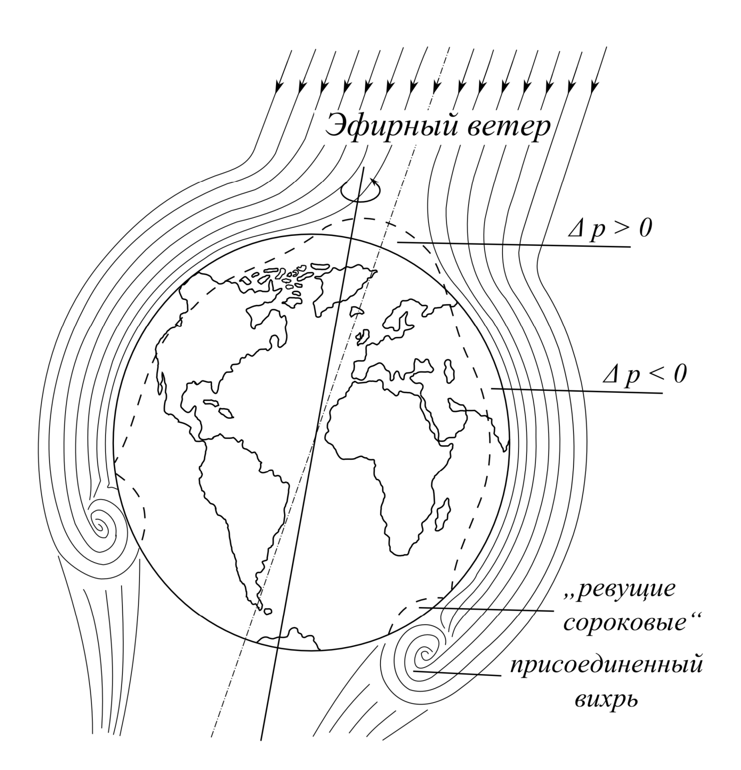


Рис. 24.5. Обдув Земли эфирным ветром: 1 – область повышенного давления эфира вследствие торможения потока, здесь образовался Северный ледовитый океан; 2 – область пониженного давления эфирного течения вследствие наличия градиента скорости у поверхности Земли. Материки и вода океанов смещаются к северу, в результате чего земной шар приобретает форму груши, вытянутой к Северному полюсу. По этой же причине материки собрались в основном в Северном полушарии; 3 – отрыв пограничного слоя и образование присоединенного вихря в районе 40–50-х градусов южной широты; 4 – область «ревущих сороковых»; 5 – выброс влаги к Южному полюсу в область Антарктиды

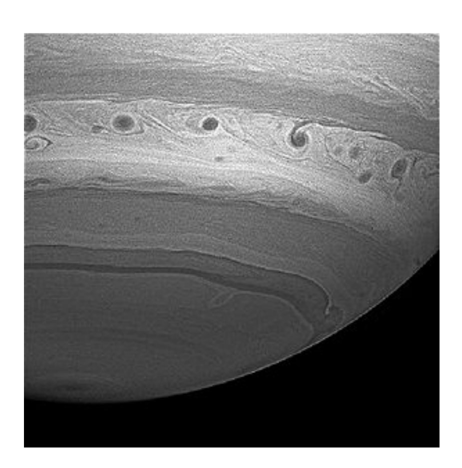
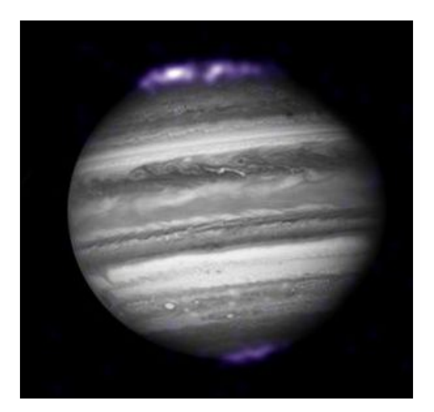


Рис. 24.6. «Аллея гроз» (storm alley) расположена в южной части Сатурна. Фото НАСА: http://bit.ly/hEGV4v

Это и есть «ревущие сороковые» широты. Западное направление ветров здесь объясняется проявлением сил Кориолиса, вызываемых относительным перемещением масс эфира и вращением Земли. Нечто аналогичное обнаружено на Сатурне: вихревые штормы на Сатурне локализуются в южном полушарии в области, называемой «аллея гроз» (storm alley).[112]

Долгое время считалось, что полярные сияния Земли зеркально симметричны, однако, в 2009 году норвежские ученые Magnus и Østgaard выяснили, что это не так.[113]

Ассиметрия полярных сияний наблюдается и на Юпитере. Это видно на фотографиях с космических телескопов Хаббл и Чандра (на фото представлена комбинированная фотография 5-часовой экспозиции за февраль 2007 года): северная аврора заметно больше южной.



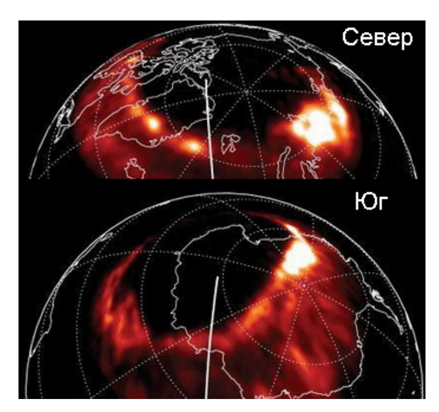


Рис. 24.7. Асимметрия полярных сияний на Юпитере и на Земле (не в масштабе). Фото http://bit.ly/dYtOtu и http://bit.ly/fe48hm

Была обнаружена асимметрия гелиопаузы и границы ударной волны в Солнечной системе по данным космических аппаратов

[112] Cnews.ru. На Сатурне бушуют грозы. http://bit.ly/fdhe5J см. также http://bit.ly/ekDvNC

[113] Полярные сияния в Северном и Южном полушариях не являются зеркальным отражением друг друга. 30.07.2009, Н.Т. Ашимбаева/ГАИШ, Москва http://bit.ly/fe48hm

«Вояджер-1» и «Вояджер-2» НАСА: 93 а.е. на севере и 76 а.е. на юге.[114]

На Марсе, как и на Земле, южное полушарие холоднее северного — об этом свидетельствует размер полярных шапок.[115*]

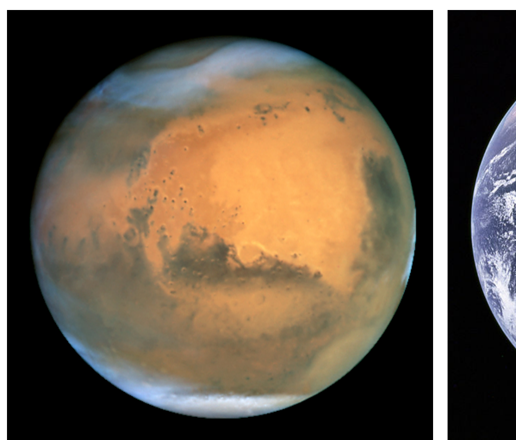



Рис. 24.8. Для Марса и Земли наблюдается асимметрия полярных шапок (фото не в масштабе). Фото НАСА: http://bit.ly/gpefXt и http://bit.ly/agECU3

Параметры эфира таковы, что при отсутствии атмосферы толщина пограничного слоя должна быть весьма мала, наличие же атмосферы в корне меняет дело. С учетом этого не должно казаться удивительным то, что на уровне земной поверхности и вблизи нее горизонтальная составляющая эфирного ветра оказалась равной около 1,5 км/с, на высоте в несколько сотен метров над уровнем моря — 3 – 3,5 км/с, а на высоте 1750 м — 10 км/с.

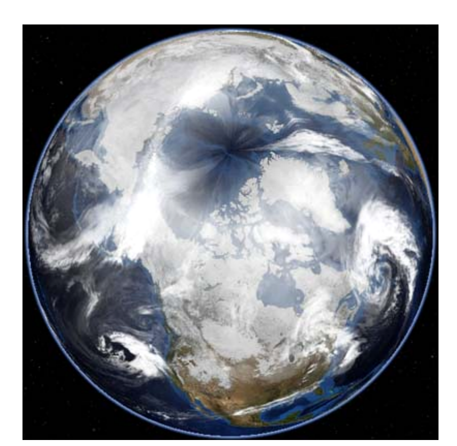
Горизонтальная составляющая на уровне земной поверхности не равна нулю, как это должно быть при обтекании шара газом в обычном случае, потому, что эфир поглощается Землей, и эта со-

[114] Than, Ker. Voyager II detects solar system's edge, http://bit.ly/h1Btmm CNN (May 24, 2006).

[115] Н. А. Козырев. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Пулково 1958 г. http://bit.ly/hwUMzF

[*] Температурные различия могут объясняться торможением броуновского движения молекул эфирным ветром по аналогии с торможением лодки в проточной воде в рассуждениях Майкельсона (см. примечание к гл. 2). *Прим. ред.*

ставляющая затухает ниже земной поверхности, но, вероятно, не глубоко, на глубине в единицы метров. В этом смысле подвальные помещения для измерения горизонтальной составляющей эфирного ветра нельзя признать удачными. Вертикальная составляющая эфирного ветра может быть измерена и в подвалах, так как она, хотя и должна уменьшаться с глубиной, но незначительно, ибо ее природа совершенно иная, полное затухание произойдет лишь в центре Земли.



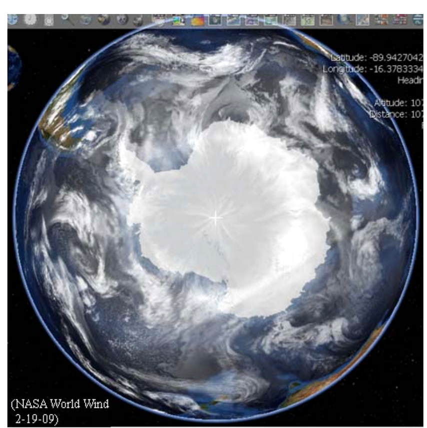


Рис. 24.9. Северный (слева) и южный (справа) полюса Земли, Nasa World Wind, 19.02.2009. Фото: http://bit.ly/dT37l0

С увеличением высоты горизонтальная составляющая должна расти в соответствии с функциональными зависимостями пограничного слоя [116]. Поэтому лучше всего было бы вынести эксперимент в космос, используя для этой цели искусственные спутники Земли. Вертикальная же составляющая, связанная с поглощением эфира телом Земли, с подъемом на высоту будет убывать так же, как убывает сила земного притяжения.

Другие формы эфирных течений

Наличием общего космического потока и потока эфира, втекающего в Землю, не исчерпываются все формы эфирных течений.

---

[116] Шлихтинг Г.А. Теория пограничного слоя: Пер. с нем. Л. Г. Лойцянского. М.: Наука, 1974.

Прежде всего следует, конечно, отметить влияние местного ландшафта на направление эфирных течений на поверхности Земли. Разумеется, что при постановке экспериментов должно быть обращено внимание на наличие гор, хребтов и даже отдельных зданий. Поскольку их эфиродинамическое сопротивление велико, эфирные потоки будут стремиться обогнуть их, соответственно искажая представления об их первоначальном направлении.

В космосе существуют и другие эфирные потоки. Проводя эксперимент с отклонением лазерного луча под воздействием эфирного ветра и действительно получив суточную вариацию отклонения под влиянием какого-то воздействия (возможно, что и суточной вариации температуры), автор настоящей статьи неожиданно обнаружил относительно регулярные колебания лазерного луча. Колебания имели повторяющуюся форму, вторая гармоника в них явно выражена (рис. 24.10). Если амплитуда колебаний менялась в относительно небольших пределах — в 2–3 раза, то период менялся в весьма широких пределах — от единиц минут до часа и даже более. У автора создалось впечатление об «обстреле» Земли тороидальными вихрями или цугом линейных вихрей типа «дорожки Кармана». Несомненно, что это явление заслуживает того, чтобы разобраться в нем детальнее.

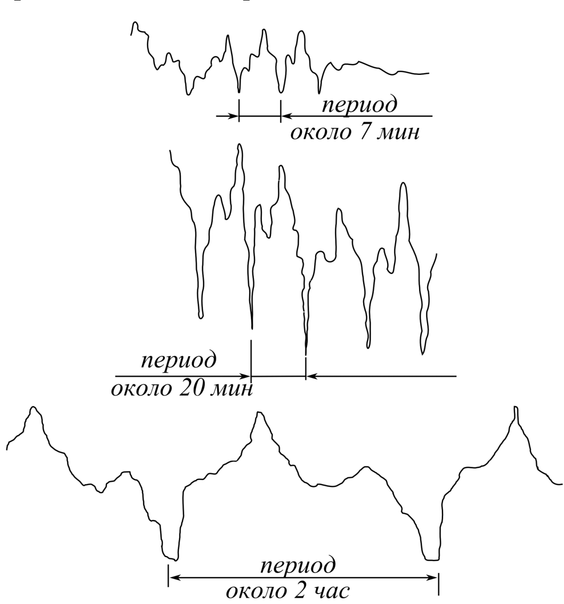


Рис. 24.10. Длиннопериодические колебания светового луча неподвижного лазера.

На земном шаре вполне возможны крупно– и мелкомасштабные потоки, имеющие земное происхождение. Космонавтами, на-

пример, обнаружено, что облака имеют свои относительно стационарные течения. Любопытно, что на земном шаре существуют точки, в которых эти течения фокусируются. Одной из таких точек является пресловутый Бермудский треугольник. В этом плане так называемая «каркасная» модель Земли начинает представляться в ином свете. Внешним проявлением и физической сутью такого «каркаса» могут как раз и являться потоки эфира, которые, выйдя за пределы поверхности Земли, захватят своим течением облака, что и увидели космонавты. Конечно, о причинах таких течений можно сейчас лишь догадываться. Однако это означает и необходимость внимательнее приглядеться к этим явлениям, имея в виду возможное их эфиродинамическое содержание.

Представляют несомненный интерес выходы эфирных потоков в виде так называемых геопатогенных зон, а также в виде полей, используемых в биолокационном эффекте. Этот эффект заключается в способности «рамки» — проволочной фигурки или лозы — свежесрезанной разветвленной ветки дерева (орешника, например), поворачиваться в руках человека, когда он проходит над рудой или над водой. Однако подобные потоки есть и в любой комнате у стен, а также около деревьев, вообще растений. Все эти потоки, видимо не ламинарны, а модулированы в пространстве и времени, имеют сложную форму. Тем более, этот предмет достоин всяческого изучения.

Таким образом, проблема эфирного ветра весьма разнообразна, затрагивает разные стороны естествознания и достойна изучения.

Некоторые рекомендации

От проблемы эфира вообще и проблемы эфирного ветра, в частности, далее отмахиваться нельзя. И хотя сторонники теории относительности А.Эйнштейна, фактически находясь у власти в науке и занимая в ней ключевые посты, всячески препятствуют самой постановке подобной задачи, работы в этом направлении должны начинаться.. Да и стоят ли аргументы релятивистов внимания, если специальная теория относительности принципиально отвергает эфир: «Нельзя создать удовлетворительную теорию, не отказавшись от существования некоей среды, заполняющей все пространство» — а общая теория относительности так же «принципиально» признает эфир «Согласно общей теории относительности, про-

странство немыслимо без эфира». Овладение эфиром сулит человечеству многое, так как это переход на следующий за «элементарными частицами» вещества уровень организации материи, а значит — очередная физическая революция.

При постановке работ по эфиродинамике, конечно, хочется в первую очередь видеть реализованными такие эксперименты, которые прямо и недвусмысленно указывают на существование эфира. Эксперименты по обнаружению эфирного ветра как раз и являются подобными экспериментами. И хотя Миллером подобные эксперименты уже были проведены, учитывая всю сложность обстановки, нужно сейчас, с использованием существующих измерительных средств и современных возможностей вернуться к этому вопросу и провести соответствующие эксперименты вновь.

Однако, проводя эксперименты на новом уровне развития науки, нельзя допустить, чтобы в результате неграмотной постановки или неправильных представлений о сути явления эксперименты по обнаружению эфирного ветра провалились. Для того чтобы этого не случилось, нужно избежать тех ошибок, которые были допущены авторами предыдущих работ в этой области. Отсюда, собственно, и возникла необходимость в публикации настоящего сборника. Оригинальные статьи авторов и непосредственных участников работ в этой области должны быть внимательно изучены всеми, кто хотел бы попытаться провести подобные эксперименты.

Основные рекомендации, которые, тем не менее, следует высказать, заключаются в следующем.

1. Эксперимент должен выноситься на высоту в несколько километров, а лучше всего на спутник, где ожидаемая скорость эфирного ветра составит 300—400 км/с. Для вращения интерферометра может быть использовано вращение самого спутника. Эксперимент желательно проводить в области тени Земли.

2. Все оптические пути ни в коем случае не должны закрываться металлическими экранами, заслонками, покрытиями, но могут закрываться экранами, выполненными только из изолирующих материалов, например, кварцевыми экранами, трубами и т. п.

3. Для повышения чувствительности в целях уменьшения габаритов устройства может быть рекомендован способ Р.Кеннеди со ступенчатым зеркалом. Необходимые рекомендации даны в его статье.

4. Целесообразно применять монохроматический источник света, но не лазер, структура света которого может оказаться не подходящей для проведения экспериментов такого типа.

5. Измерения должны проводиться автоматически с соответствующей автоматической регистрацией и обработкой результатов.

Остальные рекомендации целесообразно разработать применительно к конкретным условиям на основе внимательного изучения материалов, изложенных в переведенных оригинальных статьях.

Переводчики

1. Дж.К.Максвелл. Относительное движение эфира (1877) *пер. с англ. из сборника Франкфурта*. Письмо Тодду — *пер. с англ. Р.Г.Чертанова.*

2. А.Майкельсон. Относительное движение Земли и светоносный эфир (1881) – *пер. с англ. Л.С.Князевой.*

3. А.Майкельсон, Э.Морли. Об относительном движении Земли и светоносного эфира (1887) — *пер. с англ. Л.С.Князевой.*

4. Отрывок из письма профессоров Э.В.Морли и Д.К.Миллера Лорду Кельвину (1904) — *пер. с англ. Л.С.Князевой.*

5. Э.Морли, Д.Миллер. Отчет об эксперименте по обнаружению эффекта Фицжеральда – Лоренца (1905) — *пер. с англ. В.А.Ацюковского.*

6. Эйнштейн об эфире (цитаты) перев. из сборника М:Наука по ссылке, а также — *пер. с англ. Р.Г.Чертанова* (материалы сайта orgonelab.org).

7. А.Майкельсон. Влияние вращения Земли на скорость света. Часть I. (1925) — *пер. с англ. Л.С.Князевой.*

8. А.Майкельсон, Г.Гель. Влияние вращения Земли на скорость света. Часть II (1925) — *пер. с англ. Л.С.Князевой.*

9. Д.К.Миллер. Эфирный ветер. Доклад, прочитанный в Вашингтонской академии наук (1925) — *пер. с англ. С.И.Вавилова.*

10. Д.К.Миллер. Значение экспериментов по обнаружению эфирного ветра в 1925 г. на горе Маунт Вилсон — *пер. с англ. В.М.Вахнина.*

11. Р. Дж. Кеннеди. Усовершенствование эксперимента Майкельсона–Морли (1926) — *пер. с англ. В.А.Ацюковского.*

12. К. К. Иллингворт. Повторение эксперимента Майкельсона–Морли с использованием усовершенствования Кеннеди (1927) — *пер. с англ. Л.С.Князевой.*

13. Конференция по эксперименту Майкельсона–Морли, состоявшаяся в обсерватории Маунт Вилсон, г. Пасадена, Калифорния, 4 и 5 февраля 1927 г. — *пер. с англ. В.А.Ацюковского и Л.С.Князевой.*

14. Е.Стаэль. Эксперимент Майкельсона, выполненный на свободном аэростате (1926) — *пер. с нем. С.Ф.Иванова.*

15. А.Пиккар, Е.Стаэль. Эксперимент Майкельсона, проведенный на горе Риги на высоте 1800 м над уровнем моря (1927). — *пер. с нем. С.Ф.Иванова.*

16. А. А. Майкельсон, Ф. Г. Пис и Ф.Пирсон. Повторение эксперимента Майкельсона–Морли, 1929. — *пер. с англ. В.А.Ацюковского*

17. Данные о движении эфира. Ф.Г.Пис, 1930 г. — *пер. с англ. Л.С.Князевой.*

18. Д.К.Миллер. Эксперимент по эфирному ветру и определение абсолютного движения Земли, 1933 г. — *пер. с англ. В.А.Ацюковского.*

Письма редактору (Георг Йос и Дейтон Миллер) — *пер. с англ. Р.Г.Чертанова*

19. Дж. П.Седархольм и др. Новая экспериментальная проверка теории относительности (1958) — *пер. с англ. В.А.Ацюковского.*

20. Дж.П.Седархольм, Ч.Х.Таунс. Новая экспериментальная проверка специальной теории относительности (1959) — *пер. с англ. В.А.Ацюковского.*

Редактор перевода английских статей — Р.Г.Чертанов.

Источники изображений

Ссылки по тексту книги или здесь указаны с использованием службы сокращения интернет-адресов bit.ly (чтобы удобнее было набирать ссылки из книги). Прямые ссылки будут размещены на сайте книги http://ether.wikiext.org и доступны по щелчку мыши на изображение.

- Дж. К.Максвелл (1831-1879), портрет http://bit.ly/dv7HoJ
- Д.Г.Стокс (1819-1903) http://bit.ly/fZw4Ko
- Дэвид Пек Тодд (1855 – 1939) http://bit.ly/eUZAqS
- Начало периодической системы Д.И.Менделеева, 1902 г. http://bit.ly/fgfK7U (перерисовано)
- А.Майкельсон. http://bit.ly/gHQyqb
- А.Майкельсон (1852–1931), портрет http://bit.ly/g3eeMa
- Э.Морли (1839–1923), портрет http://bit.ly/6WcvhC
- А.Эйнштейн, сентябрь 1930 г. http://bit.ly/g4Xt2i
- А.Майкельсон в форме морского офицера, 1918 г. http://bit.ly/ebvlxT
- А.Майкельсон (1852–1931) http://bit.ly/g3eeMa
- Генри Гель http://bit.ly/gp3ICN
- Д.К.Миллер, около 1921 г. http://bit.ly/e0Gp6Z
- Аркадий Климентьевич Тимирязев (1880–1955) http://bit.ly/hgtKD3
- Д.К.Миллер. Архив университета Кейс Вестерн Резерв. http://bit.ly/eRhck9
- А.Майкельсон http://bit.ly/dZJppD
- Хендрик Антон Лоренц (1853 — 1928) http://bit.ly/e0ozvC
- Э.Морли (1839—1923) http://bit.ly/erSIVL
- Дейтон Кларенс Миллер (1866-1941) http://bit.ly/fgenAL
- Штырков Евгений Иванович http://bit.ly/fH5HOw

Приложение 1. Техническое задание на лазерный измеритель скорости эфирного ветра.

В.А.Ацюковский

1. Общие положения

Лазерный измеритель скорости эфирного ветра (далее по тексту ЛИСЭВ) предназначен для измерения скорости космического газоподобного эфирного ветра (ether drift), омывающего земной шар и всю Солнечную систему. ЛИСЭВ является измерительным устройством первого порядка, показания которого пропорциональны первой степени скорости эфирных потоков.

Разрабатываемый прибор может быть использован также для обнаружения стационарных и блуждающих геопатогенных зон (геопатогенных излучений Земли), а также в качестве предвестников землетрясений и извержений вулканов.

Проведенные предварительные исследования подтвердили положения эфиродинамики [1] о движении мирового космического эфира вокруг земного шара и о поглощении эфира Землей, а также о том, что в геопатогенных зонах при их активизации происходит излучение эфира телом Земли в виде восходящих спиральных потоков эфира.

ЛИСЭВ состоит из основного блока — измерительного датчика, стрелочных индикаторов, микроЭВМ для накопления и запоминания показаний и телеметрического передатчика, передающего показания в центр в реальном режиме времени или по мере накопления информации.

2. Физический принцип ЛИСЭВ

Физический принцип работы ЛИСЭВ основан на представлении о существовании в природе эфира — газоподобной среды, заполняющей все мировое пространство и являющейся строительным материалом для всех вещественных образований. При обдуве эфирным потоком лазерного луча последний искривляется подобно тому, как искривляется консольно закрепленная балка под воздействием обычного воздушного ветра.

Лазерный способ определения эфирных потоков разработан В.А.Ацюковским и опробован в лабораторных условиях при иссле-

дованиях эфирного ветра и при обнаружении геопатогенных зон. Отклонение конца луча лазера от нейтрального положения пропорционально плотности эфирного потока, квадрату скорости потока и квадрату длины лазерного луча:

$$\delta = k\rho v^2 l^2,$$

где k – коэффициент упругости лазерного луча, ρ – плотность эфира в потоке, v – скорость обдува луча эфирным ветром, l – длина оптического пути от лазера до фотоприемника. Таким образом, в отличие от интерферометрических способов второго порядка, у которых эффект определяется смещением интерференционных полос на величину

$$\delta = 2l(v/c)^2,$$

где c – скорость света, лазерный способ есть способ первого порядка, у которого искомый эффект не менее, чем на 5 порядков выше, чем у интерферометрических способов.

Отклонение пятна лазерного луча от его невозмущенного положения фиксируется двумя парами фотодиодов или фотосопротивлений, включенных соответственно в две мостовые электронные схемы. Одна пара фотодиодов (фотосопротивлений) расположена горизонтально и фиксирует отклонение луча в горизонтальной плоскости, вторая пара расположена вертикально и фиксирует отклонение луча в вертикальной плоскости. В настоящее время разработаны матричные способы определения положения лазерного луча, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с фотодиодным способом, но существенно дороже.

При четырех фотодиодах или четырех фотосопротивлениях, а также при матричной электронике фиксируется смещение лазерного луча в двух направлениях — горизонтальном и вертикальном, показывающих соответственно значения скорости потока в горизонтальном и вертикальном направлениях (рис. 1).

3. Конструкция ЛИСЭВ

Для повышения чувствительности прибора и увеличения длины пути лазерного луча целесообразно в приборе использовать многократное отражение луча от зеркал с поверхностным отражением и с высоким коэффициентом отражения, однако при использовании высокочувствительной электроники могут быть использованы и обычные зеркала с возможно более тонким стеклянным покрыти-

ем, установленных параллельно друг другу на расстоянии в 25–30 см. Предварительные исследования показали, что общая длина оптического пути лазерного луча может составлять порядка 1,5–2 м, что потребует всего лишь 4–5 отражений луча от зеркал (рис. 2).

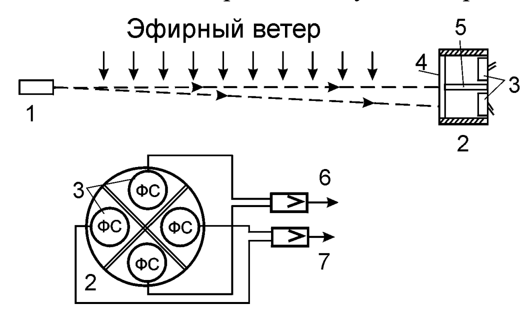


Рис. 1. Схема измерения скорости эфирного ветра с помощью лазерного луча: *1* – лазер; *2* – детектор; *3* – фотосопротивления; *4* – матовое стекло; *5* – непрозрачная перегородка; *6* – усилитель сигнала вертикального отклонения луча; *7* – усилитель сигнала горизонтального отклонения луча.

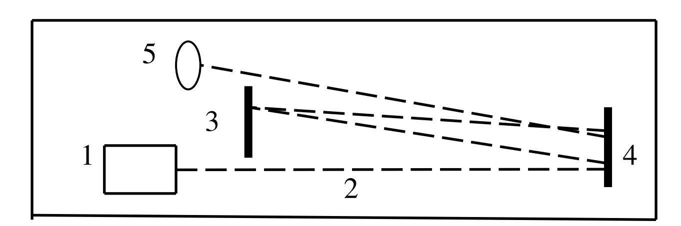


Рис. 2. Схема оптического пути ПОГИЗ: 1 – лазер; 2 – луч лазера, 3, 4 – зеркала с поверхностным отражением, 5 – фотоприемник

Весь прибор должен монтироваться на жесткой доске из любого изоляционного материала (дерево, искусственный гранит, стеклотекстолит, пластмасса и т.п.) длиной не более 0,3 м. с закрытием сверху кожухом из непроводящего материала (дерево, пластмасса). Материал доски должен обладать возможно меньшим коэффициентом температурного расширения. Положение лазера должно регулироваться так, чтобы можно было изменять количество отражений луча от зеркал и тем самым менять длину оптического пути.

Все элементы и детали прибора целесообразно монтировать на общем основании. В качестве источника лазерного излучения мо-

жет быть использована лазерная указка или лазерный светодиод излучающие красный свет. Излучатель и фотоприемники приемники должны быть согласованы по спектру.

4. Электрическая схема макета ЛИСЭВ

Фотоприемник лазерного луча представляет собой единую микросхему, состоящую из четырех крестообразно расположенных фотосопротивлений. Каждые два противолежащих фотосопротивления включаются в мостовую схему, сигнал с диагонали которой усиливается усилителем с регулируемым коэффициентом усиления. Таким образом, одной парой фотосопротивлений фиксируются вертикальное отклонение лазерного луча, второй (если это нужно) – горизонтальное.

В качестве фотоприемника может быть использована фотодиодная матрица с размером пикселей не более 0,1 мм.

К выходу усилителя подключается индикатор либо стрелочный, либо светодиодный.

При необходимости должен быть также предусмотрен выход на автоматическое регистрирующее устройство, в качестве которого может быть использован встраиваемый в прибор съемный микрокомпьютер, или на телеметрический передатчик. Регулирование нулевого значения выходного сигнала должно осуществляться грубо – изменением положения лазера и фотоприемника, и точно – уравновешиванием электрического моста с фотосопротивлениями. Ожидаемое смещение пятна лазерного луча в зоне составляет десятые доли миллиметра.

5. Испытания работоспособности макета ЛИСЭВ

Проверка работоспособности макета ЛИСЭВ проводятся в местах, расположенных в квартирах на верхних этажах зданий и на отдельных возвышенностях. При этом должны быть приняты меры к стабилизации температуры помещений. Целесообразно также помещение прибора в термостат с неметаллическим корпусом.

6. Дальнейшее развитие ЛИСЭВ

Решение о дальнейшем развитии макета прибора и создании опытного образца для различных применений принимается по результатам первых испытаний макета ЛИСЭВ.

Литература

1. **Ацюковский В.А.**Эфиродинамические основы космологии и космогонии. М.: «Петит». 2006.

2. **Ацюковский В.А., Васильев В.Г.** Обнаружение и нейтрализация геопатогенных излучений Земли. Г. Жуковский: изд-во «Петит», 2004.

3. **Ацюковский В.А.** Общая эфиродинамика. Моделирование структур вещества и полей на основе представлений о газоподобном эфире. 2–е изд. РАЕН. М.: Энергоатомиздат, 2003.

4. **Эфирный ветер.** Сборник переводов статей под редакцией д.т.н. В.А.Ацюковского. М.: Энергоатомиздат, 1993.

Разработчик д.т.н., ак. РАКЦ, РАЕН, РАЭН В.А.Ацюковский
Тел. д. 8-49848-219-22; моб. 8-926-169-04-95; E-mail: atsuk@dart.ru

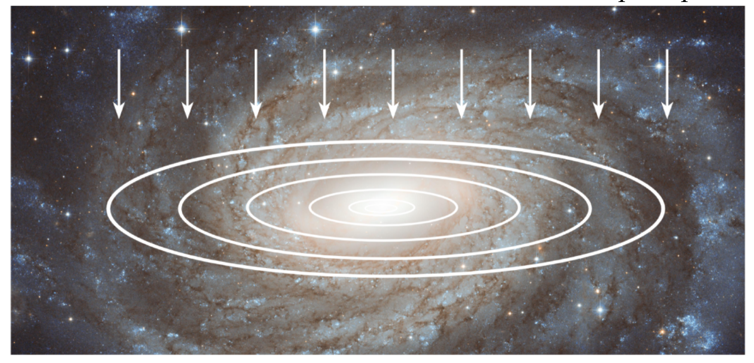
Приложение 2. Параметры эфира в околоземном пространстве

Параметр	Величина	Единица измерения
Эфир в целом		
Плотность	$\rho_э = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$	$кг \cdot м^{-3}$
Давление	$P > 1{,}3 \cdot 10^{36}$	$Н \cdot м^{-2}$
Удельное энергосодер-жание	$w > 1{,}3 \cdot 10^{36}$	$Дж \cdot м^{-3}$
Температура	$T < 10^{-44}$	К
Скорость первого звука	$V_1 > 4{,}3 \cdot 10^{23}$	$м \cdot с^{-1}$
Скорость второго звука	$v_2 = c = 3 \cdot 10^8$	$м \cdot с^{-1}$
Коэффициент темпера-туропроводности	$a \approx 4 \cdot 10^9$	$м^2 \cdot с^{-1}$
Коэффициент теплопро-водности	$k т \approx 1{,}2 \cdot 10^{89}$	$кг \cdot м \cdot с^{-3} \cdot К^{-1}$
Кинематическая вяз-кость	$\chi \approx 4 \cdot 10^9$	$м^2 \cdot с$
Динамическая вязкость	$Н \approx 3{,}5 \cdot 10^{-2}$	$кг.м^{-1} \cdot с^{-1}$
Показатель адиабаты	1 - 1,4	-
Теплоемкость при постоянном давлении	$c_P > 1{,}4 \cdot 10^{91}$	$м^2 \cdot с^{-2} \cdot К^{-1}$
Теплоемкость при постоянном объеме	$c_V > 10^{91}$	$м^2 \cdot с^{-2} \cdot К^{-1}$
Амер (элемент эфира)		
Масса	$m_а < 1{,}5 \cdot 10^{-114}$	кг
Диаметр	$d_а < 4{,}6 \cdot 10^{-45}$	м
Количество в единице объема	$n_а > 5{,}8 \cdot 10^{102}$	$м^{-3}$
Средняя длина свобод-ного пробега	$\lambda_а < 7{,}4 \cdot 10^{-15}$	м
Средняя скорость тепло-вого движения	$u_а \approx 5{,}4 \cdot 10^{23}$	$м \cdot с^{-1}$

Источник: Ацюковский В. А. Эфиродинамические основы электромагнетизма, 2-е изд. М.: изд. «Энергоатомиздат», 2011

Первая страница обложки

- Дж. К.Максвелл (1831 – 1879) http://bit.ly/dv7HoJ
- А.Майкельсон (1852 – 1931) http://bit.ly/eB9wXj
- Д.К.Миллер (1866 – 1941), около 1921 г. http://bit.ly/e0Gp6Z
- Вверху — спиральная галактика NGC 6384, снимок ESA, Hubble, NASA 22 марта 2011 http://1.usa.gov/fQb2a3 Поясняющие стрелки и линии — из главы 24. По Миллеру 1933 (см. гл. 18), «*Солнечная система может быть рассмотрена как динамический диск, который проходит через сопротивляющуюся среду и который поэтому сам устанавливает перпендикуляр к линии движения*». Это может быть справедливо, если гипотеза Миллера верна, и для других космических объектов, таких как галактики — *Прим. ред.*



- В центре – X-Class Flare, снимок NASA / Goddard / SDO AIA Team http://1.usa.gov/i8LFZE Значительная асимметрия вспышек в северном и южном полушарии Солнца обсуждается в главе 24 (вспышки в северной части Солнца наблюдаются примерно в 1,5 — 2 раза чаще, чем в южной, по данным А.А.Шпитальной, ВАГО АН СССР, 1979). — *Прим. ред.*
- Внизу — снимок Земли «Blue Marble» от 7 декабря 1972 г. http://bit.ly/hJ09xG Поясняющие линии и надписи — из главы 24. — *Прим. ред.*



Составитель — ***Ацюковский Владимир Акимович*** — доктор технических наук, академик Российской академии естественных наук, Российской академии космонавтики им. К. Э. Циолковского, почетный академик Российской академии электротехнических наук, профессор.

За его плечами — 46 лет работы в области авиационного бортового оборудования, выпуск ряда книг в области авионики, теоретической физики, системной социологии и прикладной философии.

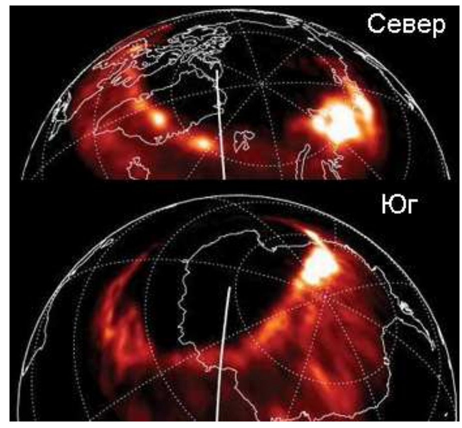
Неразрешенные вопросы электротехники и радиотехники привели автора сборника к исходным работам А.Майкельсона и других исследователей светоносной среды — эфира и эфирного ветра, которые он разыскал и впервые перевел на русский язык. При ближайшем рассмотрении «нулевые результаты» 1881 и 1887 г. **оказались не нулевыми** в последующих опытах.

Сподвижник А.Майкельсона, Д.К.Миллер, в результате многолетних экспериментов, вычислил космический апекс (звездные координаты) эфирного ветра, и оказалось, что движение эфира почти перпендикулярно плоскости движения Земли вокруг Солнца.

Данные о наличии эфирного ветра получили подтверждение, в частности, в современных опытах Ю.М.Галаева и космических измерениях Е.И.Штыркова (см. гл. 21 и 22).



Асимметрия полярных сияний на Юпитере, по данным НАСА



Асимметрия полярных сияний на Земле, по данным Magnus и Østgaard